Estágio em
Alternativas Energéticas:
2010-2016
Ghigi

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG

Estágio em Alternativas Energéticas: 2010-2016

BELO HORIZONTE (MG) – BRASIL
CEMIG
2016

Copyright: Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig

Diretor-Presidência
Mauro Borges Lemos
Diretor-Vice Presidente
Paulo Roberto Castellari Porchia
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
Carlos Renato França Maciel
Gerência de Alternativas Energéticas
Ricardo Luiz Jardim Carnevalli

Organizadores:
Cláudio Homero Ferreira da Silva, *D. Sc. (Coordenador Geral)*
Luana Teixeira Costa Lana

Capa:
Luiz Renato Gomes

Edição e Produção:
Gerência de Estudos Tecnológicos e Alternativas Energéticas – TE/ET

Companhia Energética de Minas Gerais.
Estágio em alternativas energéticas: 2010 – 2016. [livro eletrônico] / Organizadores: Cláudio Homero Ferreira da Silva, Luana Teixeira Costa Lana. – Belo Horizonte: Cemig, 2016.

92MB; ePUB.
ISBN: 978-85-87929-65-5

1. Energia - Fontes alternativas - Brasil. 2. Recursos energéticos. 3. Energia renovável. 3. Recursos naturais renováveis. 4. Desenvolvimento sustentável. I. Silva, Cláudio Homero Ferreira da, org. II. Lana, Luana Teixeira Costa, org. III. Título.
CDD: 620

Disponível em formato digital em:
< http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Paginas/default.aspx >

Este livro faz parte dos estudos realizados dentro do P&D Cemig/Aneel GT 0553 em parceria com Fapemig e DCI/UFMG

APRESENTAÇÃO

O crescimento do setor energético, concomitante ao desenvolvimento sustentável de uma nação, é uma responsabilidade de todos os atores deste cenário, e dos futuros profissionais dessa área. A Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, como principal atuante no setor elétrico do Estado, têm como papel social, a formação de profissionais, considerando seus programas de estágio, principalmente para graduandos em engenharia (ambiental, bioenergética, química, e outros).

Como parte do desenvolvimento desses profissionais, a realização de pesquisas dentro do setor energético e, principalmente, dentro do conceito de Alternativas Energéticas, é de especial importância. Formam-se, a partir do estágio realizado na Cemig, novos pensadores, profissionais em busca de melhorias e de conhecimento sobre o universo sustentável das energias renováveis.

A consolidação das pesquisas realizadas, através da publicação deste livro, tem o intuito de tornar público e acessível, informações, conceitos e abordagens sobre as tecnologias relacionadas às alternativas energéticas. Apresentadas em uma linha do tempo, de acordo com a data da pesquisa, alguns temas tendem a ser apresentados mais de uma vez, sendo complementados durante o passar dos anos.

Não só temas como energia solar, eólica, biomassa, mas também os de potencial energético, biogás, projetos de pesquisa, energia oceânica, matriz energética e outros, são abordados nas pesquisas realizadas. Tornando, desta forma, a publicação ideal para o entendimento geral do universo energético do Brasil e, principalmente, do estado de Minas Gerais.

Outro material, presente neste livro como Apêndice, são as apresentações feitas pelos estagiários, que vem de encontro com os temas abordados no decorrer do texto. As mesmas devem ser consultadas e observadas sempre que houver necessidade de entender, de forma mais sucinta, sobre as diversas temáticas constantes no universo das alternativas energéticas.

De maneira geral, essa publicação não seria possível se não fosse o trabalho de diversos estagiários e, principalmente, a orientação do Supervisor Cláudio Homero. De forma semelhante, sem o trabalho em grupo, não veremos a concretização de projetos alternativos de energia. Com isso, fica como responsabilidade de todos que tiverem aceso à tal documento, a multiplicação do conhecimento e a aplicação do mesmo dentro do contexto de vida de cada um.

Concluo esse trabalho, em conjunto com tantas outras pessoas, sabendo que a grande tarefa é diária, e está diretamente relacionada com a minha atuação profissional dentro do cenário energético nacional.

Oportunamente, agradeço aos colaboradores deste trabalho, e principalmente ao Cláudio Homero, por me dar a oportunidade de fazer um trabalho de importante contribuição para a minha formação profissional.

Luana Teixeira Costa Lana.

SUMÁRIO

2016

Capítulo 1: Potencial Energético Dos Resíduos Florestais De Minas Gerais 20
1.1 Introdução 20
1.2 Potencial Brasileiro para Fontes Renováveis 21
1.3 Outras fontes (Energia Geotérmica e Energia Maremotriz) 38
1.4 Avaliação das Energias Renováveis 40
1.5 Conclusões 42

Capítulo 2: Potencial Energético dos Resíduos Florestais de Minas Gerais 44
2.1 Objetivo do Projeto 44
2.1.1 Necessidade a ser atendida 44
2.1.2 Uma visão de Biomassa como fonte de Energia 45
2.1.3 Utilização do Resíduo Florestal com fonte de Energia 45
2.1.4 Utilização do Carvão Florestal como fonte de Energia 54
2.2 Aspectos conjunturais 57
2.2.1 Econômicos 57
2.2.2 Sociais 57
2.2.3 Ambientais 57
2.3 Mapeamento Energético de Resíduos Florestais 58
2.4 Alternativas Tecnológicas 59
2.4.1 Combustão direta 60
2.4.2 Gaseificação 60
2.4.3 Briquetagem e Peletização 60
2.4.4 Pirólise 61
2.5 Cronograma 61
2.6 Conclusão 61

2015

Capítulo 3: Potencial Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais 63
3.1 Introdução 63
3.2 Metodologia 64
3.3 Sobre os resíduos sólidos urbanos 64
3.3.1 O que é 64
3.3.2 Porque usar esse potencial (benefícios) 65
3.3.3 Quais os problemas 66
3.3.4 Para onde aponta o futuro 66
3.4 Desenvolvimento 66
3.4.1 Levantamento de dados de população 66
3.4.2 Projeção de população para 30 anos 67
3.4.3 Relação entre população e projeção de RSU 70
3.4.4 Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos 70
3.4.4.1 Total do lixo não reciclável 72
3.4.4.2 Total aproveitado para incineração 72
3.4.5 Incineração direta dos resíduos sólidos urbanos 74
3.4.6 Relação entre RSU e Energia Elétrica 75
3.4.6.1 Total de resíduos sólidos urbanos aproveitados para incineração 75

3.4.6.2 Geração de Energia Elétrica por Incineração ... 76
3.4.6.3 Geração de Energia Elétrica por Gaseificação. ... 77
3.4.6.4 Geração de Energia Elétrica por Plasma Térmico ... 78
3.4.6.5 Geração de Energia Elétrica por Digestão Anaeróbia Acelerada ... 78
3.5 A Reciclagem ... 79
3.5.1 Importância da reciclagem ... 79
3.5.2 O mercado envolvido ... 80
3.5.3 Potencial Financeiro do Lixo Reciclável ... 80
3.5.4 Potencial Financeiro da Reciclagem x Energia gerada ... 82
3.6 Resultados ... 84
3.7 Conclusões ... 89

Capítulo 4: Estudo Sobre Intensidade Energética No Estado De Minas Gerais ... 90
4.1 Introdução ... 90
4.2 Metodologia ... 91
4.3 Revisão Bibliográfica ... 91
4.3.1 Levantamento dos dados ... 91
4.3.2 Intensidade Energética no Brasil e no Mundo ... 92
4.4 Resultados Obtidos ... 93
4.4.1 Introdução ... 93
4.4.2 Intensidade Energética Geral de MG ... 93
4.4.3 Comparação com outros estados brasileiros ... 95
4.4.4 Intensidade Energética por setores de atividade ... 95
4.4.4.1 Agropecuária ... 95
4.4.4.2 Industrial ... 97
4.4.4.3 Extrativa Mineral ... 98
4.4.4.4 Transportes ... 100
4.4.4.5 Comércio ... 101
4.4.4.6 Público ... 103
4.5 Considerações Finais ... 104

2014

Capítulo 5: Atualização Do Mapeamento Energético ... 106
5.1 Introdução ... 106
5.2 Energia Solar ... 107
5.2.1 Painéis Fotovoltaicos ... 107
5.2.1.1 Células de Silício ... 108
5.2.1.2 Células De Filmes Finos ... 109
5.2.1.3 Células Orgânicas ... 111
5.2.1.4 Células com concentradores de radiação ... 111
5.2.2 Térmica ... 112
5.2.3 Energia Solar Termelétrica ... 112
5.2.4 Custos ... 114
5.2.5 Conclusão ... 118
5.3 Nuclear ... 120
5.3.1 Fissão ... 121
5.3.2 Fusão ... 123
5.3.3 Custos ... 123
5.3.4 Conclusão ... 123

5.4 Energia Geotérmica 124
5.4.1 Baixas Temperaturas 125
5.4.2 Temperaturas Altas e Ultra-Altas 126
5.4.3 Rochas Secas 126
5.4.4 Custos 127
5.4.5 Conclusão 128
5.5 Energia Oceânica 130
5.5.1 Energia Marémotriz 130
5.5.2 Energia das correntes Marítimas 132
5.5.3 Energia térmica oceânica 132
5.5.4 Energia oceânica osmótica 133
5.5.5 Energia Das Ondas 134
5.5.6 Custos 135
5.5.7 Conclusão 137
5.6 Energia Hidráulica 138
5.6.1 Energia Cinética das Correntes 138
5.6.1.1 Turbinas hidrocinéticas 138
5.6.1.2 Rodas d'água 139
5.6.1.3 Carneiro Hidráulico 140
5.6.1.4 Bomba de Cordas 140
5.6.1.5 Monjolo 141
5.6.2 Energia Potencial Gravitacional – Turbinas Hidráulicas 142
5.6.3 Custos 142
5.6.4 Conclusão 142
5.7 Energia Eólica 143
5.7.1 Offshore 144
5.7.2 Onshore 146
5.7.3 Pequeno Porte 147
5.7.4 Custos 148
5.7.5 Conclusão 148
5.8 Petróleo 149
5.8.1 Petróleo Não Convencional 149
5.8.2 Petróleo Convencional 150
5.8.2.1 Gás (GLP) 151
5.8.2.2 Gasolina 151
5.8.2.3 Querosene 152
5.8.2.4 Diesel 152
5.8.2.5 Óleo Combustível 153
5.8.3 Custos 153
5.8.4 Conclusão 155
5.9 Gás Natural 157
5.9.1 Gás natural convencional 158
5.9.2 Gás natural não convencional 158
5.9.3 Custos 159
5.9.4 Conclusão 161
5.10 Carvão 162
5.10.1 Tecnologias Limpas de Carvão 162
5.10.2 Aplicações 163
5.10.3 Custos 164
5.10.4 Conclusão 164

5.11 Biomassa 165
5.11.1 Biomassa de cultivos agrícolas 165
5.11.2 Biomassa de origem vegetal 166
5.11.3 Biomassa contida nos Resíduos Sólidos Urbanos 167
5.11.4 Biomassa de estações de tratamento de esgosto (ETE) 168
5.11.5 Custos 168
5.11.6 Conclusão 170

Capítulo 6: Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento do setor elétrico – Alternativas Energéticas 172
6.1 Introdução 172

Capítulo 7: Energia Oceânica - Detalhamento da tecnologia e dos custos envolvidos 177
7.1 Introdução 177
7.2 Definição 177
7.3 Formas para utilização 178
7.3.1 Ondas 178
7.3.1.1 Colunas de Água Oscilante (OWC) 178
7.3.1.2 Sistema de Corpo Oscilante (AWS) 179
7.3.1.3 Dispositivo de Galgamento 180
7.3.1.4 Atenuadores tipo Pelamis 181
7.3.1.5 Custos 183
7.3.2 Variação de Maré 183
7.3.2.1 Custos 185
7.3.3 Corrente Oceânica e de Maré 185
7.3.3.1 Custos 187
7.3.4 Gradiente Térmico 187
7.3.4.1 Custos 189
7.3.5 Gradiente de Salinidade 189
7.3.5.1 Custos 190
7.3.6 Aplicações em Rios 190
7.4 Locais de estudo e principais empresas 191
7.5 Aspectos positivos e negativos da tecnologia 194
7.6 Custos 195
7.7 Considerações Finais 196

Capítulo 8: Energia Geotérmica - Detalhamento da tecnologia e dos custos envolvidos 197
8.1 Definição 197
8.2 Magma 197
8.3 Formas para utilização 198
8.4 Aspectos positivos e negativos da tecnologia 200
8.5 Potencial mundial e no Brasil 201
8.6 Custos 203
8.7 Conclusão 204

Capítulo 9: Potencial De Geração De Biogás E Energia Elétrica Em Estações De Tratamento De Esgoto Em Minas Gerais 206
9.1 Introdução 206
9.2 O que é esgoto sanitário 206
9.3 O que é uma Estação de Tratamento de Esgoto 207
9.3.1 Como funciona uma ETE 207

9.4 O que é Biogás 209
9.4.1 Onde existe o Biogás 209
9.4.2 Fatores Intervenientes na produção do Biogás 209
9.4.3 Como obter o Biogás de ETE´s 210
9.5 Como aproveitar energéticamente o Biogás obtido em ETEs 211
9.5.1 Caracteristicas Do Biogás 211
9.5.2 Tecnologias de conversão do biogás em energia elétrica 212
9.5.2.1 Motores de combustão interna – Ciclo-Otto 212
9.5.2.2 Turbinas a Gás 213
9.5.2.3 Microturbinas a Gás 214
9.5.3 Cogeração 214
9.5.3.1 Sistemas De Ciclo A Vapor 214
9.5.3.2 Sistemas de Ciclo a Gás 215
9.6 O Cenário de Minas Gerais 215
9.6.1 Potencial Teórico de Geração de Biogás e Energia Elétrica em MG – Cenário 1 215
9.6.2 Potencial Teórico de Geração de Biogás e Energia Elétrica em MG – Cenário 2 219
9.6.3 O Cenário de Belo Horizonte 221
9.7 Projeção Do Cenário De Minas Gerais Para 2020 222
9.7.1 Potencial Teórico de Geração de Biogás e Energia Elétrica em MG Para o Ano de 2020 – Cenário 1 222
9.8 Considerações Finais 227

Capítulo 10: Atualização do Mapeamento Energético 228
10.1 Introdução 228
10.2 Desenvolvimento de energias 228
10.2.1 Biomassa > Digestão > Biogás 228
10.2.2 Carvão > Pulverização > Cogeração 229
10.2.3 Carvão > Gaseificação > Gás de síntese > Hidrogênio 229
10.2.4 Hidráulica > Energia cinética de correntes > Turbinas hidro cinéticas > Eletricidade 229
10.2.5 Oceânica > Mares > Eletricidade 229
10.2.6 Oceânica > Ondas > Eletricidade 229
10.2.7 Reservas não convencionais > Petróleo 230
10.2.8 Solar > Térmica > Com Concentração de radiação > Eletricidade 230
10.2.9 Solar > Painel fotovoltaico > Filmes finos > Eletricidade 230
10.3 Novas energias 230
10.4 Resultados e Discussões 231
10.5 Conclusão 236

2013

Capítulo 11: Produção de Energia Elétrica utilizando Biogás Disponível em Aterros Sanitários.....238
11.1 Introdução 238
11.2 Revisão Bibliográfica 239
11.2.1 Resíduos sólidos Urbanos 239
11.2.2 A utilização de biogás de resíduos na produção de energia elétrica no Brasil 240
11.2.3 Processo de Degradação da Matéria Orgânica 241
11.2.4 Tecnologias utilizadas para produção de energia elétrica com o biogás 242
11.3 Estudo de Caso da Cidade de Betim 243
11.4 Resultados 245
11.4.1 Metodologia 245

11.4.2 Cálculos 246
11.5 Informações 252
11.6 Conclusão 252

Capítulo 12: Energia Nuclear: situação atual e perspectivas futuras 253
12.1 Histórico 253
12.2 Conceito 254
12.3 Acidentes Nucleares 258
12.3.1 Three Miles Islands 259
12.3.2 Chernobyl 259
12.3.3 Fukushima-Daiichi 261
12.3.4 Necessidade de Aprimoramento 262
12.4 Reatores 263
12.4.1 Avanços Tecnológicos 267
12.5 Panorama Atual 272
12.5.1 Energia Nuclear no mundo 272
12.5.2 Energia Nuclear no Brasil 276
12.5.2.1 Desenvolvimento Tecnológico 279
12.6 Tendências Futuras 281
12.6.1 A Fusão Nuclear 281
12.6.2 Projetos pelo Mundo 285
12.6.3 A Fusão Nuclear no Brasil 287
12.7 Considerações Finais 288

Capítulo 13: Balanços Energéticos: Instrumento de Planejamento 290
13.1 Introdução 290
13.2 Definição 292
13.3 Princípios e Métodos Dos Balanços Energéticos 292
13.3.1 Unidades 293
13.3.2 Fatores De Conversão De Unidades Para Consolidação Do Balanço Energético 294
13.3.3 Poder Calorífico 294
13.3.4 Qualidade e Disponibilidade De Dados 294
13.3.5 Estrutura Fundamental 295
13.4 Balanço Energético Nacional 299
13.4.1 Histórico Do Balanço Energético Nacional 299
13.4.2 Cronologia de Execução do BEN 300
13.4.3 Estrutura Geral Do BEN 301
13.4.4 Fontes De Dados 305
13.4.5 Tratamento Da Eletricidade No Balanço Energético Nacional 305
13.4.6 Nível De Agregação Das Fontes Energéticas 306
13.4.7 Diagnóstico Da Metodologia Utilizada No Balanço Energético Nacional 308
13.4.7.1 Oferta De Energia 308
13.4.7.1.1 Produção Doméstica De Energia 308
13.4.7.1.2 Bunkers 312
13.4.7.1.3 Variação De Estoques 313
13.4.7.1.4 Não Aproveitada 314
13.4.7.1.5 Reinjeção 314
13.4.7.2 Setor De Transformação 314
13.4.7.3 Setor de Consumo Final 318
13.4.8 Tratamento Da Cogeração No Balanço Energético Nacional 321

13.5 Balanços Energéticos Estaduais ... 322
13.5.1 Região Nordeste ... 323
13.5.1.1 Alagoas ... 323
13.5.1.2 Bahia ... 323
13.5.1.3 Ceará ... 323
13.5.1.4 Pernambuco ... 323
13.5.2 Região Centro – Oeste ... 324
13.5.2.1 Goiás ... 324
13.5.2.2 Mato Grosso ... 324
13.5.3 Região Sudeste ... 324
13.5.3.1 Espírito Santo ... 324
13.5.3.2 Minas Gerais ... 324
13.5.3.3 Rio De Janeiro ... 325
13.5.3.4 São Paulo ... 325
13.5.4 Região Sul ... 325
13.5.4.1 Paraná ... 325
13.5.4.2 Rio Grande Do Sul ... 326
13.5.4.3 Santa Catarina ... 326
13.6 Balanço Energético Mundial ... 326
13.6.1 Instituições Internacionais ... 328
13.6.1.1 Organização Para Cooperação E Desenvolvimento Econômico (OCDE) ... 328
13.6.1.2 Agência Internacional De Energia (IEA) ... 328
13.6.1.3 Eurostat ... 329
13.6.1.4 Organização Latino Americana De Desenvolvimento De Energia (OLADE) ... 329
13.6.1.5 *United Nations Statistics Division* (ONU) ... 330
13.6.2 Análise Das Metodologias Adotadas Nos Balanços Energéticos ... 330
13.6.2.1 Oferta De Energia ... 330
13.6.2.1.1 Produção Doméstica De Energia ... 330
13.6.2.1.2 Importação e Exportação de Energia ... 336
13.6.2.1.3 Variações De Estoques ... 336
13.6.2.1.4 Produtos Recuperados ... 336
13.6.2.1.5 Não Aproveitada ... 336
13.6.2.2 Setor De Transformação ... 336
13.6.2.3 Setor De Consumo Final ... 337
13.7 Considerações Finais ... 337

Capítulo 14: Tecnologias Aplicadas À Geração, Transmissão E Distribuição De Energia: *Smart Grid* e Geração Distribuída ... 339
14.1 Sumário Executivo ... 339
14.2 Histórico ... 339
14.3 Conceito Técnico ... 340
14.3.1 Impactos Gerados pela Tecnologia ... 345
14.3.2 Ruptura Tecnológica ... 352
14.4 Situação Atual ... 353
14.4.1 Matriz de energia elétrica no mundo ... 353
14.4.2 *Smart Grid* no mundo ... 355
14.4.3 Geração Distribuída no mundo ... 358
14.4.4 Matriz de energia elétrica no Brasil ... 364
14.4.5 *Smart Grid* no Brasil ... 366
14.4.6 Geração Distribuída no Brasil ... 368

14.5 Aplicações Da Tecnologia *Smart Grid* e Geração Distribuída 369
14.5.1 Projetos recentes no Mundo 373
14.5.2 Projetos recentes no Brasil 378
14.6 Principais Entraves ao Desenvolvimento das Tecnologias 383
14.7 Tendências Futuras 387
14.8 Conclusão 388

Capítulo 15: Química verde 389
15.1 Introdução 389
15.2 Histórico e Evolução 389
15.3 A Química Verde 391
15.4 Cada Um Dos Princípios Da Química Verde 392
15.4.1 Prevenção 392
15.4.2 Economia de Átomos 393
15.4.3 Síntese Segura 394
15.4.4 Desenvolvimento de Produtos Seguros 395
15.4.5 Uso de Solventes e Auxiliares Seguros 395
15.4.6 Busca pela Eficiência de Energia 395
15.4.7 Uso de Fontes Renováveis de Matéria-prima 395
15.4.8 Evitar a formação de derivados 396
15.4.9 Catálise 396
15.4.10 Desenvolvimento de Produtos Degradáveis 397
15.4.11 Análise em tempo real para a prevenção da poluição 398
15.4.12 Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes 398
15.5 Áreas De Atuação Da Química Verde 399
15.5.1 Biorrefinarias 399
15.5.1.1 Biorrefinarias: Rota Bioquímica 402
15.5.1.2 Panorama Mundial da Rota Bioquímica 402
15.5.1.3 Panorama Nacional Da Rota Bioquímica 403
15.5.1.4 Biorrefinarias: Rota Termoquímica 404
15.5.1.5 Panorama Mundial Da Rota Termoquímica 405
15.5.1.6 Panorama Nacional Da Rota Termoquímica 406
15.5.2 Alcoolquímica 407
15.5.2.1 Panorama Mundial e Nacional da Alcoolquímica 408
15.5.3 Óleoquímica 409
15.5.3.1 Matérias primas oleaginosas e proteoleaginosas 410
15.5.3.2 Obtenção de matérias-primas 411
15.5.3.3 Panorama mundial e nacional da óleoquímica 413
15.5.4 Sucroquímica 414
15.5.4.1 Panorama Mundial e Nacional da sucroquímica 416
15.5.5 Conversão De CO_2 417
15.5.5.1 Panorama Mundial E Nacional Da Conversão De CO_2 418
15.5.6 Fitoquímica 419
15.5.6.1 Fitoterápicos 420
15.5.6.2 Biopesticidas 421
15.5.6.3 Aromas e Fragrâncias 421
15.5.6.4 Panorama Mundial E Nacional Da Fitoquímica 422
15.5.6.5 BIOPRODUTOS, BIOCOMBUSTÍVEIS E BIOPROCESSOS 423
15.5.7 Energias Renováveis 424
15.5.8 Panorama Mundial e Nacional das Energias Renováveis 424

15.6 Conclusão ... 426

2012

Capítulo 16: Resíduos animais, agrícolas e RSU ... 428
16.1 Introdução ... 428
16.2 Resíduos animais ... 428
16.3 Resíduos agrícolas ... 429
16.4 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) ... 430

Capítulo 17: *Green Building* ... 434
17.1 Sumário executivo ... 434
17.2 Introdução ... 434
17.3 Sustentabilidade ... 435
17.4 A Construção Sustentável ... 436
17.5 Ciclo de Vida em um Empreendimento ... 437
17.6 Benefícios da Construção Verde ... 438
17.7 Órgãos de Regulamentação ... 439
17.8 BREEAM ... 440
17.9 LEED ... 445
17.10 AQUA ... 449
17.11 Selo CASA AZUL ... 450
17.12 Procel Edifica ... 452
17.13 O custo das Certificações das Construções Sustentáveis ... 454
17.13.1 LEED ... 454
17.13.2 AQUA ... 455
17.13.3 Selo Casa Azul CAIXA ... 455
17.13.4 Procel Edifica ... 455
17.14 O preço da Construção Verde ... 455
17.15 Construções já existentes também podem se tornar sustentáveis? ... 456
17.16 Exemplos de Construções Sustentáveis no Mundo ... 457
17.17 Exemplos de Construções Sustentáveis no Brasil ... 458
17.18 Projetos Futuros de Construções Sustentáveis no Brasil para a Copa 2014 ... 459
17.19 Conclusão ... 460

Capítulo 18*:* Tecnologias de geração de energia: Resíduos ... 462
18.1 Sumário executivo ... 462
18.2 Descritivo Básico ... 462
18.2.1 Destinação final ... 463
18.3 Metodologia ... 464
18.4 Resíduos Sólidos Urbanos ... 465
18.4.1 Introdução ... 465
18.4.2 Destinação do RSU ... 466
18.4.3 Lixão ... 467
18.4.4 Reciclagem ... 467
18.4.5 Compostagem ... 468
18.4.6 Aterro ... 469
18.4.6.1 Aterro controlado ... 469
18.4.6.2 Aterro sanitário ... 469
18.4.7 Geração de energia ... 470

18.4.8 Questão legal 472
18.4.8.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos [12] 472
18.4.9 Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil [13] 473
18.4.10 Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos 476
18.4.10.1 Incineração 476
18.4.10.2 Gaseificação 479
18.4.10.2.1 O processo 479
18.4.10.3 Utilização do Gás do Lixo (GDL) 481
18.4.10.3.1 Sistema de extração e coleta 483
18.4.10.3.2 Beneficiamento 483
18.4.10.3.3 Geração de energia 484
18.4.10.4 Tecnologia BEM 484
18.4.10.5 Digestão anaeróbica acelerada 485
18.5 Resíduos da Pecuária 486
18.5.1 Introdução 486
18.5.2 Tratamento dos resíduos pecuários 488
18.5.3 Produção de energia a partir de dejetos animais 490
18.5.3.1 Biodigestão 491
18.5.3.2 Biodigestores rurais 494
18.5.3.2.1 Biodigestor do tipo batelada 494
18.5.3.2.2 Biodigestor do tipo contínuo 495
18.5.3.2.3 Biodigestor modelo indiano 495
18.5.3.2.4 Biodigestor modelo chinês 496
18.5.4 Custos da tecnologia 496
18.6 Resíduos agrícolas 497
18.6.1 Introdução 497
18.6.2 Potencial de geração de energia dos resíduos agrícolas 500
18.6.3 Tecnologias de conversão de resíduos agrícolas em energia 501
18.6.4 Biocombustíveis de Segunda Geração e os Resíduos Agrícolas 503
18.6.5 Tendências para os resíduos agrícolas 503
18.7 Resíduos industriais 504
18.7.1 Introdução 504
18.7.2 Destinação dos Resíduos Industriais 505
18.7.2.1 Aterro industrial 506
18.7.2.1.1 Aterros de resíduo - Classe I 508
18.7.2.1.2 Aterros de resíduo Classe II A 508
18.7.2.1.3 Aterros de resíduo - Classe II B 509
18.7.2.2 Coprocessamento 509
18.7.3 Técnicas de minimização dos resíduos 509
18.7.4 Custos para disposição de resíduos industriais 510
18.7.5 Tendências para os resíduos industriais 510
18.8 Efluentes líquidos 511
18.8.1 Introdução 511
18.8.2 Efluente industrial 511
18.8.3 Tratamento de efluentes industriais 512
18.8.4 Regulamentação 514
18.8.5 ETE- Estação de Tratamento de Efluentes [44] 515
18.8.6 Tecnologias aplicadas ao tratamento de efluentes líquidos 517
18.8.7 Produção de energia 517
18.8.8 Tendências para os efluentes líquidos 518

18.9 Florestas energéticas 518
18.9.1 Introdução 518
18.9.2 Cana 522
18.9.3 Capim elefante 524
18.9.4 Soja 525
18.9.5 Eucalipto 529
18.9.6 Ações relacionadas ao uso de madeira para energia [53] 530

Capítulo 19: Gaseificação por plasma 532
19.1 Sumário executivo 532
19.2 Descritivo básico 532
19.3 Metodologia 534
19.4 Histórico 534
19.5 O plasma 534
19.6 Componentes de um sistema de gaseificação por plasma 534
19.6.1 Sistema condutor [2] 535
19.6.2 Sistema de pré-tratamento 536
19.6.3 Gaseificador 536
19.6.4 Tocha de plasma 538
19.6.5 Drenagem da escória 541
19.6.6 Ventilação do gás 541
19.6.7 Pós-combustão 542
19.6.8 Purificação do gás de síntese 542
19.7 Os Resíduos Sólidos 543
19.7.1 O potencial energético dos resíduos no Brasil 544
19.7.2 O potencial energético dos resíduos em Minas Gerais 544
19.8 Situação no mundo 544
19.9 Situação no Brasil 546
19.10 Situação atual 547
19.11 Vantagens 548
19.12 Desvantagens 548
19.13 Desafios da gaseificação por plasma 549
19.14 Principais aplicações 549
19.15 Produção de energia 550
19.16 Custo da tecnologia 551
19.17 Questão legal 552
19.18 Tendências para o futuro [2] 552
19.19 Previsão de impactos [11] 553

2011

Capítulo 20: Cenários em energia 556
20.1 Sumário executivo 556
20.2 Introdução 557
20.3 Metodologias 558
20.4 Conceitos e *Inputs* 562
20.5 Categorias e tipos 563
20.6 Cenários Normativos [2] 563
20.7 Cenários Exploratórios [2] 564
20.8 Análise 567

20.8.1 Cenário Mundial - IEA 568
20.8.2 Cenário Mundial - Shell 572
20.8.3 Cenário do Brasil 575
20.8.4 Cenário de Minas Gerais 581
20.8.5 Empresas envolvidas na elaboração de cenários 584
20.8.5.1 IEA – Agência Internacional de Energia 584
20.8.5.2 WEC - World Energy Council 585
20.8.5.3 Shell 586
20.8.5.4 COPPE UFRJ 586
20.8.5.5 EPE – Empresa de Pesquisa Energética 587
20.9 Estudo de caso 588

Capítulo 21: Custos referentes às tecnologias de geração de energia 595
21.1 Sumário executivo 595
21.2 Introdução 595
21.2.1 Custos de investimento 595
21.2.2 Custos de geração (custos representativos da operação da usina) 596
21.2.3 Encargos Setoriais 596
21.2.4 TUSD 598
21.2.5 TUST 599
21.2.6 Impostos e Tributos 600
21.2.7 Outros Custos 600
21.3 Conceitos 600
21.3.1 Custo de Investimento 600
21.3.2 Custos Fixos e Variáveis de Operação e Manutenção 601
21.3.3 Índice de Custo Benefício (ICB) 601
21.3.4 Curva de Aprendizado 602
21.3.5 *Levelized Cost of Electricity (*LCOE) 603
21.3.6 Custo Variável Unitário de Geração – CVU 603
21.4 Leilões De Energia 605
21.4.1 Resultados de Leilões 2010 e 2011 606
21.5 Comparativo de Custos Entre as Tecnologias 608
21.5.1 *Energy Technology Persepectives* 2010 - IEA 609
21.5.2 *Projected Costs of Generating* 610
21.5.3 Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030 614
21.5.4 Estudo EPRI 617
21.5.5 Terceiro Ciclo de Revisão Tarifária Periódica 620
21.6 Proinfa 625
21.7 Conclusões Específicas das Tecnologias 625
21.7.1 Energia Solar Fotovoltaica 625
21.7.2 Energia Eólica 631
21.7.2.1 Caracterização econômica 631
21.7.2.2 Custo de investimento 632
21.7.2.3 O&M 633
21.7.2.4 Relação potência e custo 633
21.7.2.5 Presença da tecnologia no Brasil 634
21.7.2.6 Curva de aprendizado e custos futuros 634
21.7.2.7 Futuro 635
21.7.3 PCH 636
21.7.3.1 Custo de Investimento 636

21.7.3.2 Custos de Operação e Manutenção (O&M) 636
21.7.3.3 Impostos e Taxas (I & T) 637
21.7.3.4 Encargos de Transmissão 637
21.7.3.5 Termelétrica a Gás Natural 637
21.7.4 Térmica Nuclear 639

2010

Capítulo 22: Energia Hídrica 642
22.1 Energia Hídrica 642
22.1.1 Situação no Brasil 644
22.1.2 Geração de energia 646
22.1.3 Custos 651
22.1.4 Impactos ambientais e sociais 653
22.1.5 Legislação e incentivos governamentais 654
22.1.6 Perspectiva e tendência futura 655
22.2 Considerações finais 657

Referências 658

Apêndice 718

2016

Capítulo 1: Potencial Energético Dos Resíduos Florestais De Minas Gerais[1]

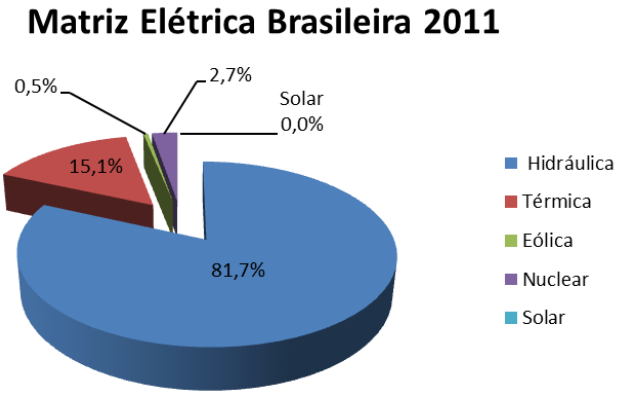
Resumo: **O Brasil tem diversas opções de fontes de energias renováveis na extensão do seu território. A existência comprovada dessa grande aba de fontes energéticas possibilita uma série de discussões sobre a atual conjuntura da matriz energética brasileira e as suas possibilidades e potenciais de crescimento no futuro. Com grande potencial nas áreas de energia eólica, solar e provida da biomassa, uma estrutura diversificada e mais sustentável da matriz energética deve ser consolidada. Com a implementação de novas políticas de suporte para energias renováveis e o rompimento de algumas barreiras na legislação, o crescimento da participação dessas energias na matriz deverá ser rápido e acentuado. O sucesso do conceito de matriz sustentável, através do aumento da participação das energias renováveis, depende muito das iniciativas políticas de incentivar a utilização dessa variedade de fontes renováveis de energia e a vantagem de incorporá-las na matriz energética brasileira.**

1.1 Introdução

O Brasil é o quinto maior país do mundo, tendo um grande potencial de exploração de energias renováveis, como a energia hídrica, devido aos grandes rios que são encontrados em seu território (Amazonas, Paraná, São Francisco, Paranaíba, Iguaçu, entre outros). A fonte energética com maior participação na matriz é a hídrica, que é complementada pelas térmicas e nucleares, e recentemente, as energias eólica e solar começaram a aparecer de maneira mais expressiva. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica, em 2016, a matriz energética brasileira possui 4.527 empreendimentos em operação, totalizando cerca de 144 GW de potência instalada sendo que 93,3 GW são da fonte hídrica, 39,7 GW da térmica, 2 GW da nuclear, 9 GW da eólica e 22 MW da solar.

Por ser muito vasto, o território brasileiro apresenta diferentes zonas climáticas, possibilitando alto potencial de exploração de outras energias renováveis além da hídrica. Por exemplo, locais quentes e secos, que possibilitam a produção de energia solar térmica; ventos fortes que se encontram ao longo do litoral, possibilitando a produção de energia eólica e; locais com grandes ondas marítimas, possibilitando a produção de energia oceânica (energia pouco explorada ainda no país, tendo como exemplo a usina undi-elétrica). O Brasil ainda conta com uma grande geração de biomassa, podendo utilizá-la tanto na produção de energia, através das térmicas, ou utilizá-la para produção de biocombustíveis, como, por exemplo, o bioetanol, o biodiesel, entre outros. O Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo, ficando atrás somente dos Estados Unidos (CNPEM, 2015). A Figura 1.1 mostra a matriz energética brasileira no ano de 2011 (EPE 2012), explicitando, que em 2011, o Brasil já tinha uma grande parte da sua matriz composta de energias renováveis.

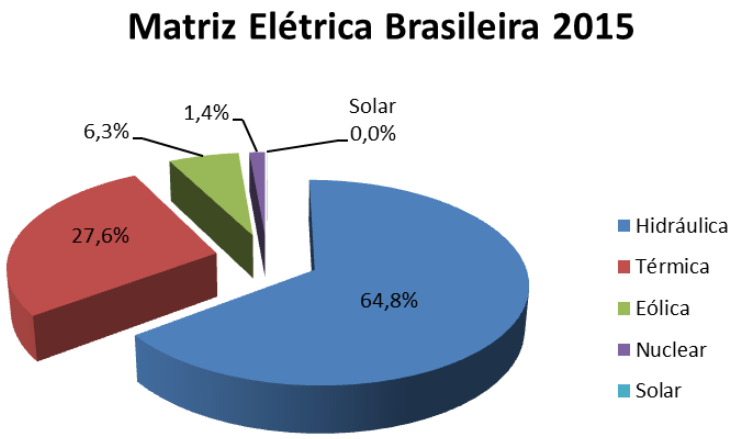
Figura 1.1 – Matriz elétrica brasileira 2011 (EPE 2012)



[1] Trabalho realizado pelo estagiário Gabriel Fabel, em 2016.

Após o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), o Brasil tinha como objetivo aumentar, cada vez mais, a participação das fontes renováveis e diminuir a participação da energia hídrica na sua matriz energética, com os principais objetivos de diversificar a matriz e aumentar a segurança no fornecimento de energia. Pode-se perceber, como mostrado na Figura 1.2, que os investimentos em energias renováveis já fazem efeito na matriz, considerando que a participação dessas, como eólica e térmica de biomassa, aumentou, em detrimento da participação da energia de fonte hídrica, se comparada com a Figura 1.1.

Figura 1.2 – Matriz elétrica brasileira 2015 (ANEEL 2016)



Com o país em intenso desenvolvimento, é esperado que o consumo de energia elétrica no Brasil cresça significantemente. Assim, torna-se necessário o investimento em fontes de energia renováveis, já que essas se encontram com um preço bastante competitivo em relação às outras fontes. Por exemplo, de acordo com a ANEEL e a EPE, em 2015, nos leilões de energia o preço da energia de empreendimentos hidráulicos foi de 183,66 R$/MWh, o preço da energia solar fotovoltaica foi de 297,75 R$/MWh e o preço da energia eólica foi de 213,00 R$/MWh.

Nesse capítulo são relacionadas as fontes renováveis de energia, os impactos causados, e seus potenciais no perfil do Brasil.

1.2 Potencial Brasileiro para Fontes Renováveis

Considerando que o desenvolvimento do país está ligado diretamente com o com a necessidade de energia para suprir a crescente demanda, as energias renováveis aparecem como uma grande oportunidade para contribuir para a construção de um sistema altamente sustentável, seguro, com o melhor aproveitamento do potencial de cada local do país, ajudar a melhorar a situação ambiental do país e diminuir a emissão de gases de efeito estufa.

A seguir, são descritas algumas fontes de energia, sendo a maioria já utilizada no país, e outras em pesquisa e desenvolvimento:

1.2.1. Energia hídrica

Altos níveis de precipitação e grandes diferenças de altitude são fatores importantes para gerar uma quantidade significativa de energia. Porém, essa é uma energia sazonal, fazendo com que na temporada de seca seja necessária uma fonte alternativa para complementar a sua geração. Além de ser sazonal, efeitos climáticos podem exercer influência na produtividade de hidrelétricas, como por exemplo, o aquecimento global e o El Ninõ (efeito atmosférico-oceânico que afeta as águas superficiais do oceano Pacífico Tropical, podendo alterar o regime de chuvas em regiões tropicais), entre outros; fazendo com que ocorra diminuição da quantidade de chuva que são

necessárias para reabastecimento das hidrelétricas que se encontram nos locais afetados, como é o exemplo do nordeste brasileiro (ANACE, 2015). No Brasil, a energia hídrica é altamente representativa na matriz elétrica, tendo muitos reservatórios de grande porte, fazendo com que essa energia seja bastante explorada e tendo uma alta produção de energia. A quantidade de energia produzida fica ainda maior se forem contabilizadas as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), que tem capacidade de produção de energia entre 1 MW e 30 MW e a área dos seus reservatórios pode chegar até 3 km^2, como é definido pela ANEEL (Resolução n° 394, de 04 de dezembro de 1998). A Tabela 1.1 mostra as maiores hidrelétricas do país, sua capacidade de produção, a área dos seus reservatórios e o status de desenvolvimento.

Tabela 1.1 – Maiores hidrelétricas do Brasil (ANEEL 2013)

Hidrelétrica	**Rio**	**Produção (MW)**	**Reservatório (km^2)**	**Status**	**Localização**
Itaipú	Paraná	14.000	1.350	OP	Paraná (BR) / Paraguai
Belo Monte	Xingú	11.233	516	EC	Pará
São Luiz do Tapajós	Tapajós	8.381	722	P	Pará
Tucuruí	Tocantins	8.370	2.850	OP	Pará
Santo Antonio	Madeira	3.665	271	EC	Rondônia
Ilha Solteira	Paraná	3.444	1.195	OP	São Paulo
Jirau	Madeira	3.300	108	EC	Rondônia
Xingó	São Francisco	3.162	620	-	Alagoas/Sergipe
Paulo Afonso IV	São Francisco	2.462	12,9	OP	Bahia
Jatobá	Tapajós	2.338	646,3	P	Pará
Itumbiara	Paranaíba	2.082	778	OP	Goiás / Minas Gerais
Teles Pires	Teles Pires	1.820	151,8	OP	Mato Grosso
São Simão	Paranaíba	1.710	722,25	OP	Minas Gerais / Goiás
Foz do Areia	Iguaçu	1.676	167	OP	Paraná
Jupiá	Paraná	1.551	330	OP	Mato Grosso do Sul / São Paulo
Itaparica	São Francisco	1.500	834	OP	Bahia / Pernambuco
Itá	Uruguai	1.450	103	OP	Santa Catarina / Rio Grande do Sul

(OP = em operação, EC = em construção e P = planejada)

Observa-se que quatro das maiores hidrelétricas citadas já se encontra em operação, totalizando uma potência nominal de 41.984 MW, mostrando como a energia hídrica tem grande participação na matriz elétrica brasileira.

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 da EPE, o Brasil tem um potencial hidrelétrico a aproveitar até 2030 de 174.000 MW, sendo que os maiores potenciais se encontram nas regiões Norte e Centro-Oeste, que juntos tem acumulam 68% dessa energia que pode ser explorada. O maior problema para a exploração do potencial dessas regiões é que elas se encontram em locais de preservação ambiental, como é o caso da floresta Amazônica, podendo chegar à conclusão de que para explorar esse potencial, serão demandados cuidados maiores e estudos especiais.

A energia hídrica no Brasil continuará recebendo investimentos no futuro e continuará crescendo cada vez mais. Porém, outras fontes de energia deverão ter uma taxa de crescimento maior, fazendo com que a energia hídrica perca participação na matriz elétrica do país, mesmo com o aumento da sua potência instalada.

1.2.2. Energia eólica

O ar se move devido a diferenças de pressão e de temperatura, fazendo com que sejam gerados ventos verticais e horizontais, que possuem uma força aerodinâmica de arrasto. A produção de energia eólica é realizada através do conjunto turbina-gerador eólico, o qual utiliza a força aerodinâmica dos ventos, exercida sobre as pás (orientadas vertical ou horizontalmente), para movimentá-lo e transformar a energia rotacional das pás em energia elétrica.

A energia eólica já era utilizada por milhares de anos (CEMIG, 2012), para propósitos de movimentação de barcos, para moer grãos ou para bombear água, mas somente no último século que essa energia começou a ser utilizada para geração de energia elétrica através de parques eólicos. Estes são constituído por várias torres eólicas distribuídas espaçadamente em uma determinada área, para que o vento recupere força e velocidade ao passar de uma torre, chegando na próxima torre com capacidade de geração. Os parques eólicos podem ser on-shore (quando as torres se encontram em terra) ou off-shore (quando as torres se encontram no mar). Parques on-shore podem ser aproveitados, concomitantemente, à atividade agrícola ou com energia solar, surgindo os parques híbridos, que se apresentam como uma tendência para o futuro.

Em comparação com outras fontes energéticas, a energia eólica possui algumas vantagens, não depende da queima de combustíveis fósseis para gerar energia, diminuindo a emissão de gases de efeito estufa, utiliza pequena área para instalação do parque eólico, em comparação com outras fontes. Porém, a energia eólica também apresenta desvantagens em comparação a outras fontes, por exemplo: a rotação das pás eólicas produz ruídos altos, são necessárias várias torres eólicas para a produção de uma maior quantidade de energia, é extremamente dependente da velocidade do vento, fazendo com que se houver uma temporada de ventos mais fracos, a energia produzida diminua bastante, ou quando o vento supera a velocidade aceitável, os freios aerodinâmicos e os freios a disco são ativados, fazendo com que a torre pare de gerar energia, é considerada como uma poluição visual e o valor de instalação de um parque eólico ainda é bastante elevado. Outra desvantagem da energia eólica é que a fonte não é controlável, impactando no sistema de forma negativa, tornando-o instável.

Existem dois tipos de ruídos emitidos pela torre eólica, o ruído mecânico de engrenagens e gerador e o ruído aerodinâmico das pás. Devido aos avanços na tecnologia de uma torre eólica, como a melhoria dos equipamentos de isolamento, os ruídos mecânicos têm sido praticamente extintos. De acordo com o livro Alternativas Energéticas: Uma Visão da CEMIG, o ruído emitido de uma torre eólica nas suas proximidades é de 50 dB. As normas nº 10.151 e 10.152 da ABNT estabelecem uma distância mínima de 200 m para uma habitação, para que o ruído emitido seja de 40 dB. Esses ruídos não tem efeito a curto prazo nos habitantes, mas a longo prazo, devido ao aborrecimento e insatisfação com o barulho constante, pode causar náuseas, dor de cabeça, distúrbios no sono, problemas de concentração e memória, pressão no ouvido, zumbido no ouvido, tonturas, entre outros (AGRENER, 2013).

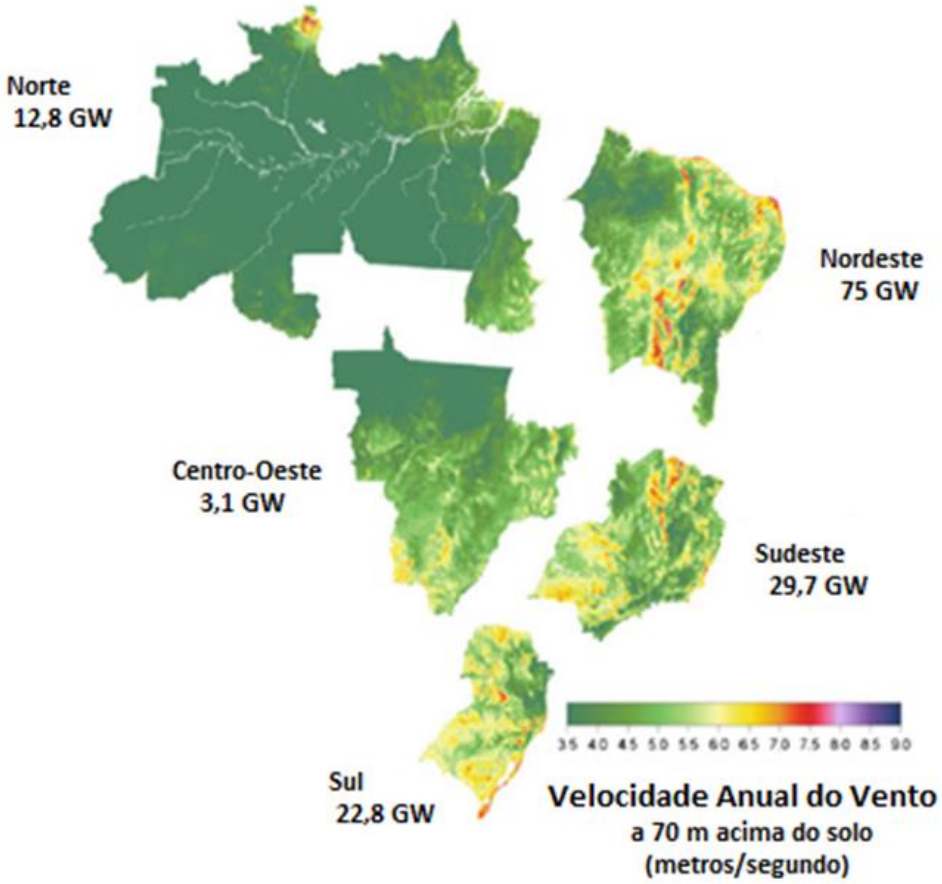
A Tabela 1.2 apresenta os países que possuem mais de 1.000 MW de capacidade instalada, de energia eólica, no final de 2015 (GWEC, 2015).

Tabela 1.2 – Capacidade instalada de energia eólica no mundo (MW)

Rank	País	Capacidade (MW)
1	China	145.104
2	Estados Unidos	74.471
3	Alemanha	44.947
4	Índia	25.088
5	Espanha	23.025
6	Reino Unido	13.603
7	Canadá	11.200
8	França	10.358
9	Itália	8.958
10	Brasil	8.715
11	Suécia	6.025
12	Polônia	5.100
13	Portugal	5.079
14	Dinamarca	5.063
15	Turquia	4.694
16	Holanda	3.431
17	México	3.073
18	Japão	3.038
19	Romênia	2.976
20	Irlanda	2.486
21	Áustria	2.411
22	Bélgica	2.229
23	África do Sul	1.053
	TOTAL	**432.127**

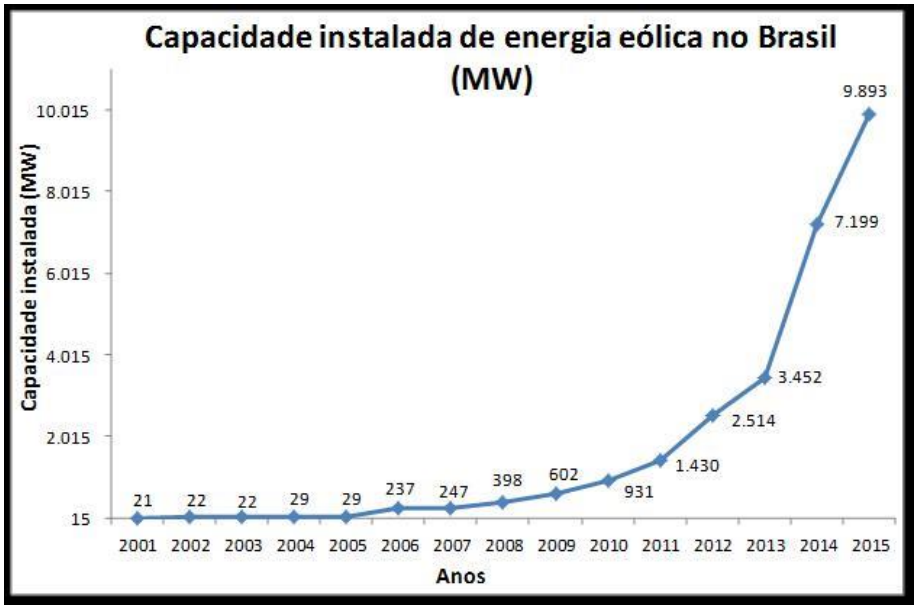
De acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), o uso da energia eólica no Brasil só começou em 1992, com uma turbina de pequeno porte instalada na cidade de Fernando de Noronha (PE), seguida por outra turbina de pequeno porte, instalada na cidade de Gouveia (MG), em 1994. A Figura 1.3 mostra o potencial eólico de cada região do Brasil baseado na velocidade do vento a 70 m do solo (MME 2012).

Figura 1.3 – Potencial eólico de cada região do Brasil a 70 m acima do solo (MME 2012)



Então, somando o valor apresentado de cada região, prevê-se para o Brasil um potencial de aproximadamente 144 GW. Porém, a energia eólica no Brasil só começou a ter um crescimento acentuado com o PROINFA, pois foi quando o governo deu maiores incentivos para a sua exploração, fazendo com que o Brasil utilizasse o seu potencial e o transformasse em capacidade instalada de energia eólica. A Figura 1.4 mostra o crescimento da capacidade instalada de energia eólica no Brasil (CEPEL 2015).

Figura 1.4 – Capacidade instalada de energia eólica no Brasil (CEPEL 2015)



Em 2015, a energia eólica teve uma participação de cerca de 6% da produção de energia do país. A maioria dos parques eólicos se encontra no nordeste e no sul do país, pois essas regiões são as que têm maior potencial eólico do país, devido à velocidade do vento, entre outros. A Tabela1.3 mostra os principais parques eólicos do Brasil (ANEEL 2016).

Tabela 1.3 – Principais parques eólicos do Brasil (ANEEL 2016)

Parque eólico	Capacidade instalada (MW)	Local de operação	Status
Alto Sertão I	294	Sudoeste da Bahia	FI – 2012
Alto Sertão II	386	Sudoeste da Bahia	PC
Alegria I	51	Guamaré (RN)	OP – 2011
Alegria II	100,65	Guamaré (RN)	OP – 2011
Praia Formosa	105	Camocim (CE)	ON – 2009
Complexo Acarati	138,5	Aracati (CE)	ON – 2008
Complexo Osório	150	Osório (RS)	ON – 2007
Icaraízinho	65,1	Amontada (CE)	PC
Elebrás Cidreira I	70	Tramandaí (RS)	ON – 2011
Vale dos Ventos	48	Mataraca (PB)	ON – 2009
Canoa Quebrada	57	Aracati (CE)	ON – 2008
Praia do Morgado	28,8	Acaraú (CE)	ON – 2010
Volta do Rio	42	Acaraú (CE)	ON - 2010
Miassaba III	68,47	Macau (RN)	ON – 2012
Rei dos Ventos I	58,45	Galinhos (RN)	ON – 2012
Rei dos Ventos III	60,12	Galinhos (RN)	ON - 2012

(FI = falta infraestrutura para operação, PC = planejado ou em construção, OP = operando parcialmente e ON = operando normalmente)

O Brasil é considerado como um dos mercados mais promissores para energia eólica do mundo. Porém, para que o setor eólico seja consolidado no país ainda faltam incentivos políticos, econômicos e regulatórios, pois o Brasil ainda depende de condições internacionais para o desenvolvimento da energia eólica, como a crise econômica

ocorrida em 2008, que levou ao excesso de equipamentos eólicos estocados pelas empresas fabricantes, diminuindo seu preço, possibilitando a compra em larga escala e desenvolvimento do setor eólico no Brasil. Então, a indústria eólica tem que ser consolidada e tem que ser realizados novos investimentos na infraestrutura para conectar todos os parques eólicos que ainda estão em construção no Sistema Interligado Nacional (SIN), a fim de continuar o desenvolvimento dessa tecnologia no Brasil.

1.2.3. Energia solar

A energia solar se refere ao uso, de maneira útil, da energia provinda do sol, sendo para aquecer água (térmica) ou para produção de energia elétrica (fotovoltaica). De acordo com estudos divulgados em 2011 pelo IPHE (*International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy – IPHE*), o mundo recebe aproximadamente 174 petawatts de radiação solar na sua atmosfera e reflete cerca de 30% de volta para o espaço, mostrando a quantidade de energia que pode ser explorada no mundo, fazendo com que a energia solar seja uma das energias com maior potencial de desenvolvimento.

A conversão de energia solar em elétrica pode ser feita de duas maneiras, através de módulos fotovoltaicos (modo direto) ou através de termosolares (modo indireto). O módulo fotovoltaico converte energia solar em elétrica a partir do efeito fotovoltaico, que consiste no surgimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor quando ele é exposto à luz solar, e o termosolar, que usa espelhos para redirecionar a luz solar para um local com o intuito de aquecer um fluido a altas temperaturas.

A incidência solar durante o ano no Brasil é considerada como uma das mais altas do mundo. Sabendo do potencial solar brasileiro, um projeto para obterem-se informações de alta qualidade sobre o potencial solar do Brasil, o SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment Project*), realizado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), com suporte daUNEP (*The United Nations Enviroment Program*) e a GEF (*Global Environmental Facility*), foi desenvolvido. O SWERA, baseado no modelo BRASIL-SR desenvolvido pela CPTEC/INPE e pela LABSOLAR/UFSC, deu os parâmetros de irradiação solar no Brasil.

De acordo com os valores medidos, o valor máximo de irradiação solar (6,5 kW h/m^2) se encontra na região Nordeste do Brasil, onde impera o clima semi-árido, e o valor mínimo de irradiação solar (4,25 kW h/m^2) se encontra no litoral da região Sul do país. Ambos os valores citados são bem maiores do que os valores encontrados na maioria dos países da Europa. A Figura 1.5 mostra o valor de irradiação solar diário para vários países e as Figuras 1.6 e 1.7 mostram o valor de irradiação solar nas diversas regiões do Brasil (PEREIRA, 2006).

Figura 1.5 – Irradiação solar diária em diversos países (PEREIRA, 2006)

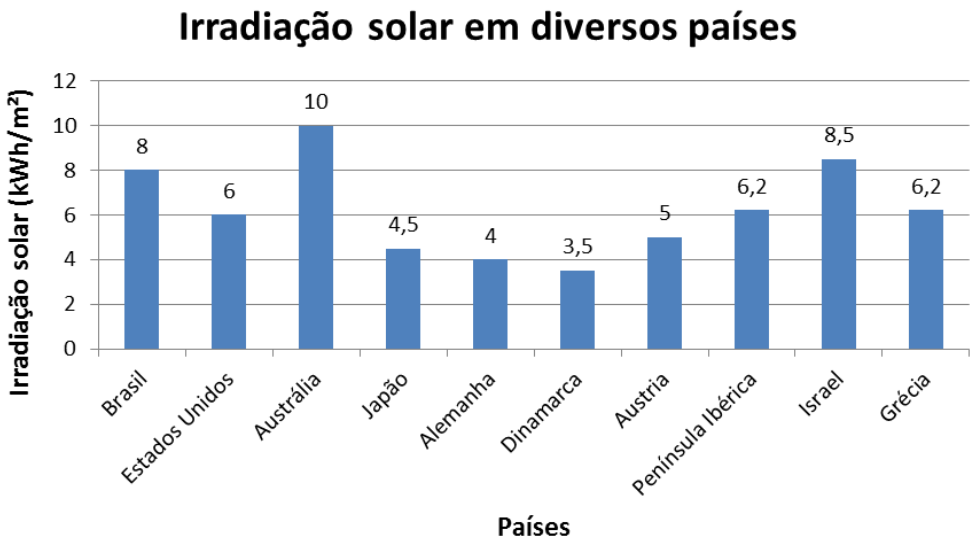


Figura 1.6 – Irradiação solar diária nas regiões do Brasil (SOLARGIS, 2011)

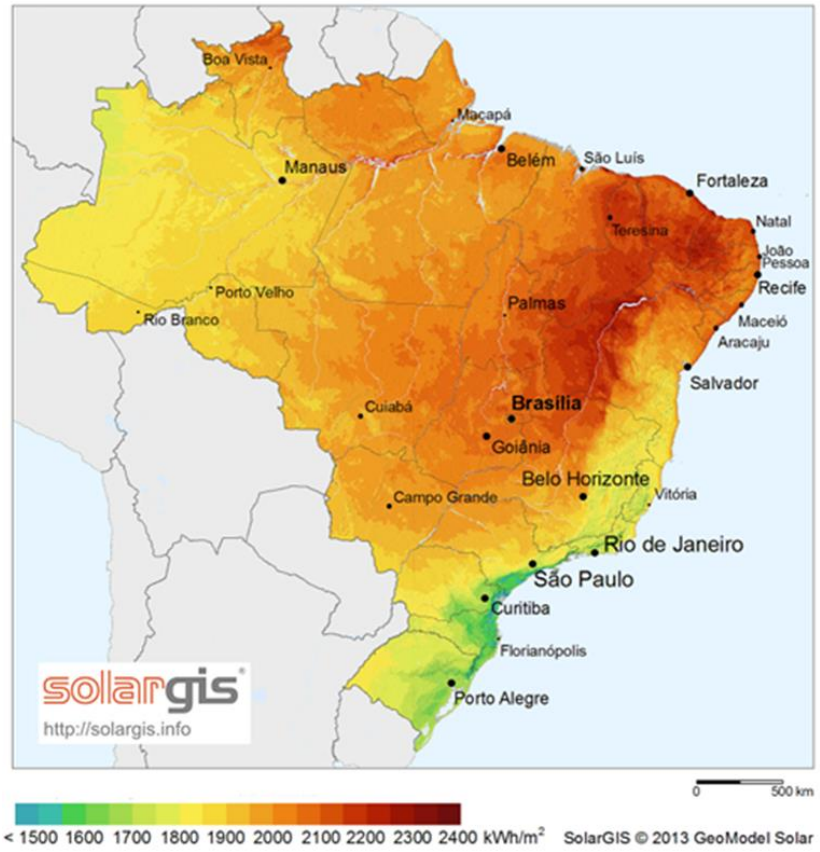
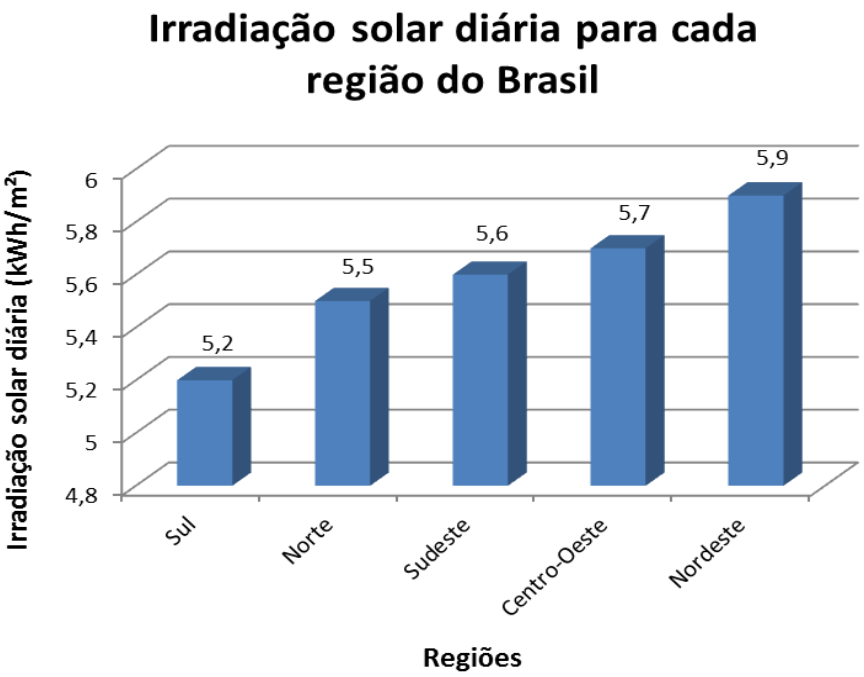


Figura 1.7 – Irradiação solar diária para cada região do Brasil (PEREIRA, 2006)



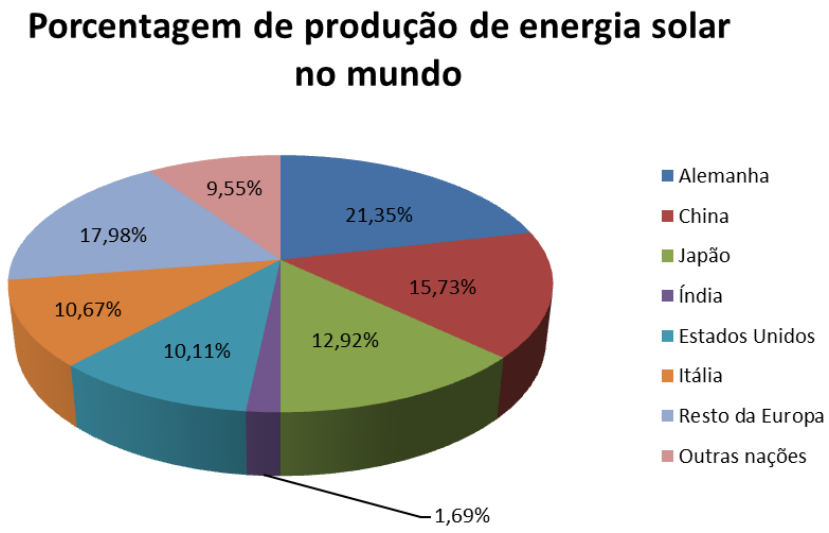
O uso de termosolares, especialmente para aquecimento de água de banho, está crescendo cada vez mais no Brasil. De acordo com o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), em 2013 existiam mais de 30 milhões de chuveiros elétricos no Brasil, chegando a consumir, naquele ano, aproximadamente 6% da eletricidade produzida pelo país.

Devido ao alto consumo do chuveiro elétrico, aquecer a água utilizando energia solar é um sinônimo de grande economia para todos os setores (residencial, comercial e industrial). O estado de Minas Gerais, no ano de 2030 tinha aproximadamente 2,938 milhões de metros quadrados de painéis solares para aquecimento de água, instalados (CEMIG, 2014), fazendo uma economia equivalente à 1.413.000 TEP (Toneladas Equivalentes de Petróleo).

A tecnologia termosolar também pode ser usada para produzir energia elétrica, através de espelhos que redirecionam a luz solar em um local, aquecendo um fluido, que provoca movimento rotacional em uma turbina, conectada a um gerador, produzindo energia elétrica. Existem algumas usinas que produzem energia elétrica através do método termosolar no Brasil.

Os equipamentos necessários para a implantação e construção de usinas solares ainda tem um custo muito elevado, impossibilitando o uso em grande quantidade no Brasil, por enquanto. Porém, o preço dessas tecnologias está diminuindo cada vez mais com o passar do tempo, devido à produção em escala e ao uso de materiais mais baratos e resistentes para a produção desses equipamentos (CEMIG, 2012). A SER (Sistema de Energia Renovável) tem planos para construir usinas solares com uma capacidade instalada total de 600 MW no Brasil, em 2020, e estima que, em 6 anos, a energia solar será competitiva, se comparada com as outras fontes de energia. A Figura 1.8 mostra a porcentagem de produção de energia solar no mundo (SOLARPOWER, 2014).

Figura 1.8 – Porcentagem de produção de energia solar no mundo (SOLARPOWER, 2014)



Como pode ser observado na Figura 1.8, apesar do Brasil ter um dos maiores potenciais solares do mundo, a sua participação na produção de energia solar em 2014 foi bem pequena, se for comparada com países da Europa que tem um potencial solar menor do que o Brasil, como é o caso da Alemanha, que é uma das maiores produtoras de energia solar do mundo, mesmo tendo um baixo potencial de produção, e a Itália.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o plano para incrementar a produção de energia solar, entre 2013 e 2022, tem como objetivo aumentar a produção em 1.400 MW. A Tabela 1.4 mostra as principais usinas solares do Brasil, operando ou em construção.

Tabela 1.4 – Principais usinas solares do Brasil (EPE, 2013)

Usina solar	Capacidade instalada (kW)	Status
Usina Tauá (SP)	1.000	EO
Tanquinho (SP)	1.000	EO
Alto do Rodrigues (RN)	1.100	EO
Itajobi (SP)	3.000	EO
Estádio Mineirão (MG)	1.500	EO
Estádio Maracanã (RJ)	3.300	EO
Pituaçu (BA)	404,80	EO
Araçuai (MG)	20.000	EC
Barra I e II (BA)	60.000	EC
Belém do São Francisco I e II (PE)	60.000	EC
Ceará I e II (CE)	60.000	EC
Jaguaretama I e II (CE)	60.000	EC
Dr. Miguel Arraes I e II (CE)	60.000	EC
Piauí I e II (PI)	60.000	EC
Remanso I até VIII (BA)	240.000	EC
Sousa I e II (PB)	60.000	EC
Xique-Xique I até VIII (BA)	240.000	EC

(EO = em operação e EC = em construção)

O uso da energia solar na geração distribuída (GD) está aparecendo cada vez em maior quantidade, tendo uma previsão de aproximadamente 1,2 milhão de unidades consumidoras utilizando energia solar na GD até 2024.

Em 2015, o governo começou a incentivar mais a utilização da GD pelos consumidores. Então, criou-se o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (PROGD) e alterou-se a Resolução normativa nº 482 da ANEEL para a Resolução Normativa nº 687 da ANEEL, com o objetivo de estimular os consumidores a fazerem a sua própria geração de energia e diminuir os gastos com a eletricidade. Os Ministérios de Minas e Energia e da Educação, juntamente com o PROGD e REN nº 687, tem planos para realizar projetos específicos de instalação de sistemas de geração distribuída baseados em painéis fotovoltaicos para universidades, escolas técnicas e hospitais federais. As escolas técnicas, a partir dessa proposta, desenvolverão cursos específicos de projeto, manutenção e instalação, com o objetivo de preparar profissionais para esse novo mercado de GD.

1.2.4. Biodiesel

O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis como óleos vegetais e gorduras animais. De matéria-prima vegetal, podem-se destacar as oleaginosas no Brasil, como a mamona, dendê, canola, girassol, amendoim, soja, babaçu, pinhão manso, algodão, dentre outras. De matéria-prima animal, podem-se destacar no Brasil o sebo bovino e a gordura suína (MME, 2005).

Diferentes processos são usados para a produção do biodiesel, como o craqueamento, a esterificação e a transesterificação. O processo mais utilizado é a transesterificação, que consiste na reação química de do óleo vegetal ou animal, usado como matéria prima, com etanol ou metanol, estimulado por um catalisador (MME, 2005).

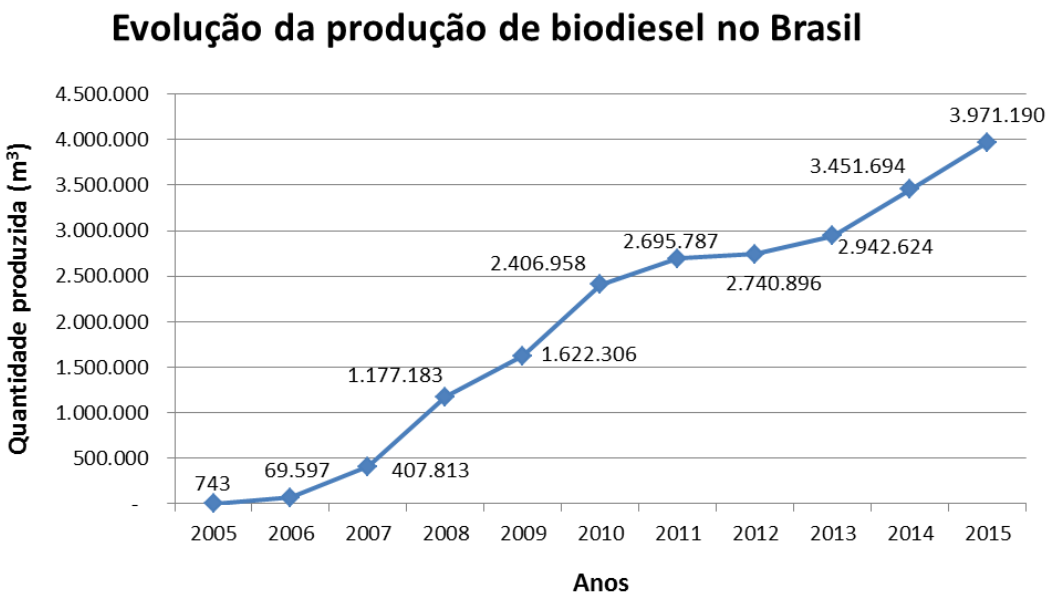
O biodiesel substitui total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo, em motores ciclo diesel automotivos (caminhões, tratores, automóveis, entre outros) ou em estacionários (geradores de eletricidade, calor, entre outros) (MME, 2005). O combustível pode ser usado em várias proporções, desde pequenas proporções misturadas ao diesel de petróleo até o biodiesel puro. Em 2008, era usado o B2, que é a mistura de 2% de biodiesel e 98% de diesel de petróleo. Já em 2010, a participação do biodiesel na mistura aumentou para 5%, fazendo com que o B2 virasse B5. Em 2015, a Comissão Especial do Desenvolvimento Nacional no Senado aprovou uma lei que aumenta a participação do biodiesel no combustível para 7% (B7), prevendo, também, o aumento da proporção para 8% (B8) em até um ano após a promulgação da lei, para 9% (B9) e até dois anos e 10% (B10) em até três anos (CANAOESTE, 2015). Existem possibilidades para a participação do biodiesel aumentar mais, chegando até a ser o biodiesel puro (B100).

O Brasil começou a se movimentar para a criação de projetos que tinham como objetivo a produção de biodiesel na década de 1990, mas a produção do biodiesel só avançou significativamente em dezembro de 2004, quando foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). A produção de biodiesel no Brasil tem crescido bastante, sendo que em 2005, a produção anual de biodiesel foi de cerca de 743 m^3, já em 2012 a produção foi aproximadamente 2.740.896 m^3 e em 2015 a produção foi de 3.971.190 m^3 (ANP). A Tabela 1.5 mostra os principais produtores de biodiesel no Brasil no ano de 2016 e a Figura 1.9 mostra a evolução da produção de biodiesel no Brasil.

Tabela 1.5 – Alguns dos produtores de biodiesel no Brasil em 2016 (ANP, 2016)

Produtor	Local	Capacidade instalada (m³/dia)
ABDIESEL	Araguari (MG)	6
ADM	Rondonópolis	1.352
ADM	Joaçaba (SC)	510
AMAZONBIO	Ji-Paraná (RO)	90
BARRALCOOL	Barra dos Bugres (MT)	190,46
BIANCHINI	Canoas (RS)	900
BIG FRANGO	Rolândia (PR)	6
BINATURAL	Formosa (GO)	450
BIO BRAZILIAN	Barra das Garças (MT)	98
BIO ÓLEO	Cuiabá (MT)	150
BIO PETRO	Araraquara (SP)	194,44
BIO VIDA	Várzea Grande (MT)	18
BIOCAMP	Campo Verde (MT)	300
BIOCAPITAL	Charqueada (SP)	400
BIOPAR	Rolândia (PR)	120
BIOPAR	Nova Marilândia (MT)	338
BIOTINS	Paraíso do Tocantins (TO)	81
BOCCHI	Muitos Capões (RS)	300
BSBIOS	Passo Fundo (RS)	600
BUNGE	Nova Mutum (MT)	580
CAMERA	Ijuí (RS)	413,79
CARAMURU	Ipameri (GO)	650
CARAMURU	São Simão (GO)	625
CARGILL	Três Lagoas (MS)	700

Figura 1.9 – Evolução da produção de biodiesel no Brasil (ANP 2016)



Desde o lançamento do PNPB, do final de 2004 ate o final de 2011, e com a ajuda de programas estaduais, como o Pró-Macaúba, programa realizado pelo governo de Minas Gerais, que consiste no incentivo ao cultivo, extração, comercialização, consumo e transformação da macaúba e das demais oleaginosas, o Brasil tinha evitado importar cerca de 7,9 bilhões de litros de diesel, que é equivalente a um ganho de cerca de US$5,2 bilhões na balança comercial brasileira (ANP, 2016).

Existem planos no Brasil para a instalação da primeira unidade de produção de biodiesel através da alga. A unidade deve ser aprovada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), sendo que o maior empecilho é o custo de produção por litro de biodiesel, pois esse custo chega a ser de cinco a dez vezes maior do que o custo de biodiesel produzido através de oleaginosas. Se o projeto for aprovado, a unidade será instalada em Pernambuco e será utilizado gás carbônico emitido da produção de etanol da cana-de-açúcar para agilizar o processo de fotossíntese e crescimento das algas e diminuir a emissão de gases poluentes.

1.2.5. Bioetanol

É um combustível líquido que pode ser produzido a partir de qualquer fonte primária que contenha glicose ou algum material que possa ser transformado em glicose, como a celulose. De acordo com a Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis da EPE, realizada em 2015, o Brasil é um dos maiores produtores de etanol no mundo, juntamente com os Estados Unidos, que em conjunto, produzem cerca de 90% do etanol mundial. Enquanto o etanol dos Estados Unidos é produzido através do milho, no Brasil o etanol é produzido a partir da cana de açúcar. A produção de etanol no Brasil é extremamente competitiva devido a uma série de motivos, como: o fato do clima em algumas regiões do país ser ideal para a sua produção, das regiões mais produtoras de etanol (Centro-Oeste e Nordeste) se encontrarem longe da Amazônia, fazendo com que não necessite de uma extrema supressão vegetal para produzir o etanol. Outros motivos que fazem com que o etanol seja uma alternativa altamente viável e competitiva para ser explorada são: o fato de o Brasil ter o Pro-Álcool, um dos melhores programas de incentivo de produção e desenvolvimento do etanol, o fato do uso de carros flex (carros que usam como combustível, tanto gasolina como etanol) ter crescido exponencialmente e, de acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), em 2013, já ser contabilizado como quase 90% dos carros vendidos no país e o motivo de que, de acordo com a Agência Internacional de Energia, a produção e o uso de etanol permite reduzir a emissão de gases de efeito estufa em 80% em relação à gasolina. A Tabela 1.6 e 1.7 apresentam a produção de etanol mundial entre os anos de 2007 e 2015 (RFA, 2007 – 2016).

Tabela 1.6 – Produção de etanol mundial entre os anos de 2007 e 2015

País	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
EUA	6.521	9.309	10.938	13.298	13.948	13.300	13.301	14.300	14.700
Brasil	5.019	6.472	6.578	6.922	5.573	5.577	6.267	6.190	7.093
China	486	502	542	542	555	555	696	635	813
Canadá	211	238	291	357	462	449	523	510	436
Austrália	26	26	57	66	87	71	ND	ND	ND
Outros	82	128	247	66	ND	ND	ND	ND	ND

(ND = não disponível, galão = 3,78 litros)

Tabela 1.7 – Produção de etanol mundial entre os anos de 2007 e 2015

País	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Europa	570	734	1.040	1.209	1.168	1.179	1.371	1.445	1.387
Ásia[a]	132	156	527	244	335	397	426	465	545
América do Sul[b]	75	79	83	200	199	223	ND	ND	ND
América Central[c]	ND	ND	ND	364	39	19	ND	ND	ND
África	ND	ND	ND	44	37	42	ND	ND	ND
Mundo	13.123	17.644	20.303	23.311	22.356	21.812	22.584	23.545	24.974

(a = Excluindo China, b = Excluindo Brasil, c = Incluindo México, ND = não disponível, galão = 3,78 litros)

A produção de bioetanol é de suma importância para o Brasil, já que se trata de um combustível limpo, renovável e de amplo potencial no país. Então, de acordo com o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), a partir de 2013, com o objetivo de aumentar a quantidade de etanol produzido por unidade, sem necessidade de expandir a área plantada, muitas empresas começaram a investir mais no etanol celulósico, mais conhecido como etanol de segunda geração (2G). A produção do etanol 2G traz uma série de vantagens para o país, como: o maior aproveitamento da cana-de-açúcar e seus subprodutos, a utilização de insumos já presentes no local de produção da cana, produção no momento de entressafra da cana, redução da emissão de gases de efeito estufa, entre outros.

1.2.6. Biohidrogênio

O desafio da procura pela diversificação da matriz energética mundial, fazendo com que vários países comecem a buscar soluções dentro do universo do hidrogênio, apontando-o como uma possibilidade de geração de energia de uma maneira mais limpa e sustentável para tal diversificação.

Os principais motivos para a escolha dessa fonte são que o alto valor energético do hidrogênio, o fato do mundo, hoje em dia, produzir uma quantidade extremamente alta de hidrogênio e pelo fato dele poder ser produzido através de diversas fontes, como combustíveis fosseis, biomassa, entre outros (IPHE 2011).

Anualmente, o mundo produz, cerca de 45 bilhões de kg de hidrogênio, sendo a maioria destinada para o setor industrial (IPHE 2011). Apesar de poder ser produzido a partir de diversos materiais, a produção do hidrogênio é, predominantemente, realizada a partir de combustíveis fosseis (gás natural), já que as tecnologias de extração desses, hoje em dia, são mais maduras e apresentam um melhor custo beneficio. A Figura 1.10 apresenta os principais energéticos a partir do qual o hidrogênio, no mundo, é obtido.

Figura 1.10 – Principais energéticos para obtenção de hidrogênio no mundo (IPHE, 2011)

O hidrogênio biológico, mais conhecido como biohidrogênio, tem esse nome devido a sua fonte de produção, que são as fontes renováveis. A sua produção é realizada, na sua maioria, através da biofotólise direta, a biofotólise indireta, a fotofermentação e a fermentação anaeróbia, sendo que esse último tem se destacado, pela maior produção de hidrogênio e possibilidade de utilização de diferentes materiais residuais como substrato. O Quadro 1.1 apresenta os processos e tecnologias mais promissoras para a produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis (IPHE, 2011).

Quadro 1.1 – Processos e tecnologias para produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis (IPHE, 2011)

Fontes	Processos	Tecnologia
Energia eólica, solar, geotérmica e hídrica	Eletrólise	Eletrólise renovável
Biomassa (etanol, bio-óleo, CSP)	Térmico	Gaseificação, quebra da água em altas temperaturas
Microorganismos (alga, cianobactérias)	Fotólise	Biofotólise da água
Semicondutores	Fotólise	Fotólise química da água

No Brasil, os principais motivos para o interesse do país no biohidrogênio são a possibilidade de produção através de fontes renováveis e a possibilidade de reuso de materiais considerados descartáveis ou lixo (restos de comida, lixo, descartes de fábrica de papel e de produtos a partir de óleo, glicerol, materiais de amido ou lignocelulose, entre muitos outros). Em unidades de produção de etanol de primeira e segunda geração e biodiesel, pode-se haver uma cogeração para a produção de biohidrogênio, utilizando os materiais residuais dessa indústria. Como a indústria de produção de etanol é altamente representativa no país, esse fato faz com que o biohidrogênio se torne ainda mais interessante para o país. O potencial de geração de energia através da utilização de resíduos urbanos, como o lixo, é de 318,58 GWh da utilização de matéria-prima (grãos, entre outros) é de 1.587 GWh/ano, mas o país só tem instalado um potencial de geração de 63,72 MW e 317,49 MW para essas opções, respectivamente (SOUZA E SILVEIRA, 2011).

Devido a grande disponibilidade de biomassa, biogás e etanol no país e com o objetivo de se colocar em uma posição estratégica de produtor de hidrogênio renovável, participando dos mercados de serviços associados com o hidrogênio e lucrar com essa fonte, o governo brasileiro promoveu iniciativas e incentivos para a pesquisa e desenvolvimento de tal tecnologia. Visando melhorar o uso, a economia e produção do biohidrogenio, desenvolveu-se programas como, o ProCaC (Programa Bra-

sileiro para Células a Combustível) e o ProH_2 (Programa Brasileiro de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio) (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2002, 2005, 2010).

O Brasil ainda precisa percorrer um grande caminho para que o mercado do hidrogênio seja estabelecido e consolidado. Algumas ações são necessárias para que esse cenário se concretize, tais como:

- Criar um mercado, desde a produção até o consumo, para o hidrogênio;
- Definir as logísticas e seus respectivos desenvolvimentos;
- Implementação de projetos piloto, com pesquisas e desenvolvimento integrados com ações para exploração da energia do hidrogênio;
- Disseminação da tecnologia do hidrogênio.

1.2.7. Biogás

O biogás, biometano, gás de lixo ou gás renovável é um gás produzido pela digestão anaeróbia com uma bactéria ou a fermentação de materiais biodegradáveis. Esse gás é composto, primeiramente, por metano (CH_4), variando entre 50% e 75% da composição do gás, dióxido de carbono (CO_2), variando entre 30% e 40% da composição do gás, nitrogênio (N_2) e podem ser encontradas pequenas quantias de sulfato de hidrogênio (H_2S), umidade e siloxanos.

A produção de uma unidade geradora de biogás depende de vários fatores, como: tipo de matéria prima usada, temperatura de fermentação, design da unidade geradora, tempo de retenção do gás, entre outros. A maneira mais comum de usar o biogás é para produzir, de maneira combinada, calor e energia.

Atualmente, a Alemanha é o maior produtor de biogás do mundo, sendo que a energia gerada através do biogás teve uma participação de aproximadamente 18% na matriz energética alemã em 2013 (IEA, 2015). A indústria de biogás é tão forte na Alemanha que em 2015 a sua geração foi de aproximadamente 4.177 MW, produzidos em 8.928 indústrias no país (GBA, 2015).

O maior propósito do uso do biogás no Brasil é diminuir os impactos do lixo no meio ambiente, já que o líquido liberado pelo lixo (chorume) nos aterros sanitários pode contaminar os lençóis freáticos da região e incineração ainda é um processo muito caro e, em adição a isso, produzir eletricidade. Existem algumas grandes unidades geradoras de biogás no Brasil, e também de geração de médio e pequeno porte, que, em sua maioria, são utilizadas por meio de cogeração em fazendas ou indústrias que trabalham com agricultura, pecuária ou lixos de cidades. Outra maneira de geração de energia é em estações de tratamento de esgoto (ETE), onde a produção de biogás no local pode ser aproveitada. A Tabela 1.8 mostra as unidades de produção de eletricidade através do biogás de resíduos urbanos no Brasil e a Tabela 1.9 mostra as unidades de produção de eletricidade através do biogás de resíduos animais no Brasil.

Tabela 1.8 – Unidades produtoras de eletricidade através de biogás de resíduos urbanos no Brasil (ANEEL, 2016)

Usina	Capacidade instalada (kW)	Destino da energia
Salvador (BA)	19.730	PIE
São João Biogás (SP)	24.640	PIE
Energ-Biog (SP)	30	REG
Asja BH (MG)	4.278	REG
Arrudas (MG)	2.400	REG
Ambient	1.500	REG
Biotérmica Recreio (RS)	8.556	PIE
Uberlândia (MG)	2.852	REG
CTR Juiz de Fora (MG)	4.278	REG
Itajaí Biogás (SC)	1.065	REG
Termoverde Caieiras (SP)	29.547	PIE
Guatapará (SP)	5.704	PIE
Bandeirantes (SP)	4.624	REG
Curitiba Energia (PR)	4.278	REG
Tecipar (SP)	4.278	REG

(PIE = Produção Independente de Energia, REG = Registro)

Tabela 1.9 – Unidades produtoras de eletricidade através de biogás de resíduos animais no Brasil (ANEEL, 2016)

Usina	Capacidade instalada (kW)	Destino da energia
Unidade Industrial de Aves (PR)	160	REG
Unidade Industrial de Vegetais (PR)	40	REG
ETE Ouro Verde (PR)	20	REG
Star Milk (PR)	110	REG
Granja Makena (MG)	80	REG
Ajuricaba (PR)	80	REG
Fazendo Nossa Senhora do Carmo (MG)	80	REG
Granja São Roque (SC)	424	REG
Fazenda da Luz (SC)	810	REG
Ronaldo de Freitas Silva (MG)	120	REG

(REG = Registro)

De acordo com o Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético (2013), o Brasil produziu cerca de 198.000 toneladas de lixo por dia em 2011, no qual cerca de 90% desse lixo foi coletado e controlado e cerca de 58% desse lixo coletado é levado para aterros sanitários, 24% para aterros controlados e 17% para lixões. Como esses locais onde os lixos são levados emitem gás de efeito estufa (GEE) e o lixo tem material suficiente para a produção do biogás para geração de energia, o uso dos resíduos das cidades apresenta um grande potencial para ser usado como fonte de geração de energia. O Brasil tem um potencial de produção de energia a partir do lixo de cerca de 282 MW (ABRELPE, 2013). A Figura 1.11 mostra a porcentagem de participação de cada região do Brasil para a produção de energia a partir do lixo.

Figura 1.11 – Porcentagem de participação de cada região na produção de energia a partir do lixo (ABRELPE, 2014)

1.3 Outras fontes (Energia Geotérmica e Energia Maremotriz)

1.3.1. Energia Geotérmica

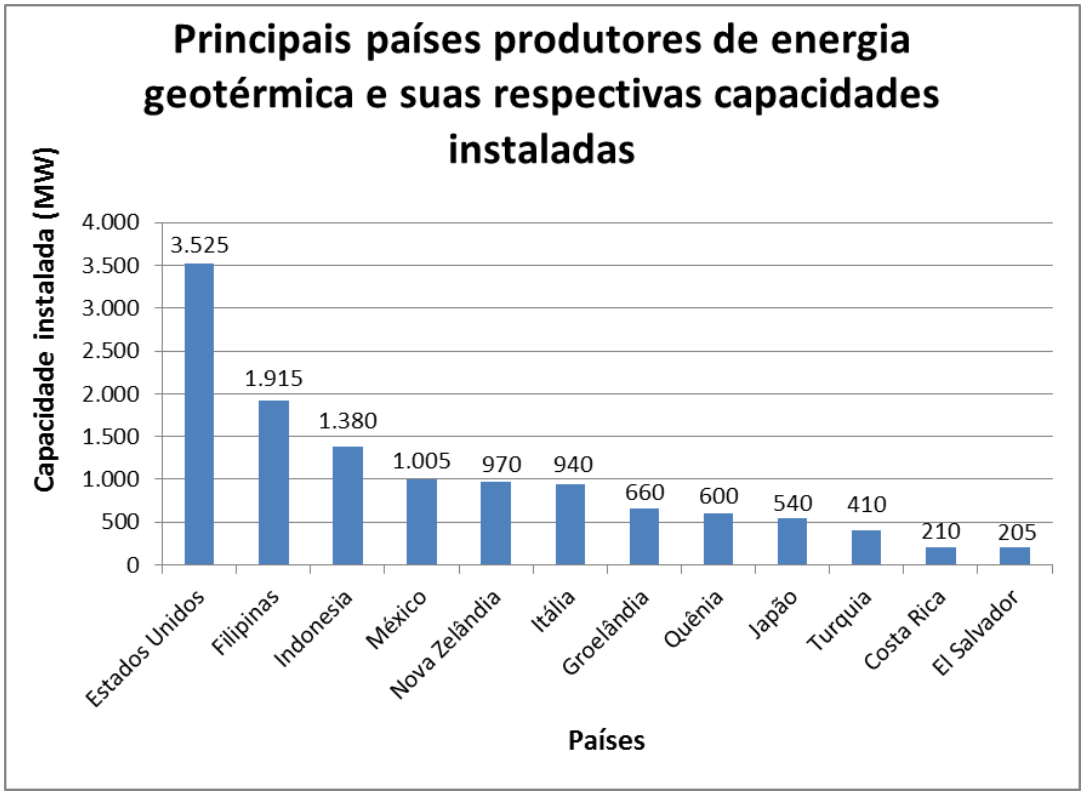
Energia geotérmica é a energia térmica gerada e armazenada na Terra. As principais fontes da energia geotérmica são:

- As ondas de calor vindas do núcleo e manto terrestre, compondo cerca de 40% do total de energia geotérmica do mundo;

- A energia gerada através dos isótopos radioativos presentes na crosta terrestre, compondo cerca de 60% da energia geotérmica do mundo.

Os principais produtores de energia geotérmica no mundo são os Estados Unidos, Filipinas, Indonésia, México, Itália, Nova Zelândia, Islândia e Japão, sendo que os Estados Unidos tem a maior produção do mundo, com aproximadamente 3.525 MW de capacidade (GEA, 2015). A Figura 1.12 mostra os principais produtores de energia geotérmica e as suas respectivas capacidades instaladas.

Figura 1.12 – Principais países produtores de energia geotérmica e suas respectivas capacidades instaladas (GEA, 2015)



O Brasil não tem uma exploração muito elevada de energia geotérmica, tendo uma capacidade instalada de aproximadamente 362 MW, apesar desse baixo uso da energia geotérmica no país, pode-se encontrar aplicações dessa energia em residências e comércios, mas não para produção de energia, para o aquecimento de água. Os maiores potencias em solo brasileiro se encontram no centro do país, no estado de Goiás e no sul do país, no estado de Santa Catarina. O baixo uso de energia geotérmica no Brasil se deve aos seguintes motivos (GOMES, 2009):

- Baixos níveis de energia geotérmica, devido ao país se encontrar no meio de placas tectônicas (não havendo áreas vulcânicas ou tectonismo ativo na região);

- Os investimentos necessários para a instalação de unidades geotérmicas ainda é muito caro, fazendo com que a exploração de outras fontes energéticas seja mais viável, no momento.

Existem estudos para desenvolvimento do mapeamento geotérmico das regiões onde se tem interesse em instalar uma planta de produção de eletricidade através da energia geotérmica, mas a grande promessa para energia geotérmica é a tecnologia de rochas secas, a qual é possível "estimular" o aquecimento da água usando o calor do interior da Terra. Caso essa tecnologia se torne viável, o potencial da energia geotérmica aumentará significantemente (CEMIG, 2012).

1.3.2. Energia do mar

A energia do oceano é energia que pode ser de origem de várias maneiras do mar, como a energia vinda das ondas, das marés, entre outras formas. É estimado que o mundo tenha um potencial maior que 2 TW de energia do mar provinda das ondas (CRUZ, 2008).

Para aproveitar essa energia, podem ser construídas turbinas submersas (com o mesmo princípio da energia eólica), para aproveitar as correntes marítimas, a construção de barragens (com mesmo princípio das hidrelétricas), para aproveitar o desnível das marés, a construção de equipamentos para o aproveitamento do movimento do mar causado pelas ondas, entre outras maneiras.

De acordo com um estudo realizado por Segen Estefen publicado pela *International Energy Agency* (IEA), o potencial brasileiro para energia do mar provinda das ondas é de aproximadamente 122 GW (SEGEN, 2015), sendo que somente a região sudeste do país tem um potencial de 50 GW ao longo do seu litoral, um potencial quase três vezes maior do que a capacidade instalada na usina hidrelétrica de Itaipu.

Apesar do grande potencial brasileiro para exploração dessa fonte de energia renovável, a energia do oceano é pouco explorada no Brasil, devido a vários motivos, como:

- O custo dos equipamentos necessários para a exploração dessa fonte, além de estar em fase inicial de desenvolvimento, são muito caros;
- O custo de implantação e manutenção são muito elevados;
- Os impactos ambientais causados na fauna e flora marinha são elevados, por enquanto.

A energia do mar, apesar de estar em fase inicial de desenvolvimento e ainda ser pouco explorada, é uma fonte de energia renovável que tem uma capacidade enorme de ser uma alternativa muito forte e competitiva no futuro, mas para que isso aconteça, muitos estudos e desenvolvimentos ainda são necessários nas áreas de impactos ambientais, maneiras de ligá-la ao sistema elétrico, equipamentos, proteção contra corrosão, entre outros.

Os maiores esforços e pesquisas para desenvolvimento das tecnologias da energia oceânica estão na energia provinda das ondas e das correntes. Ainda não há nenhuma tecnologia que se destaque na energia oceânica, pois cada litoral de cada país tem um perfil diferente. Com cada pesquisa desenvolvida para essa fonte de energia, o preço dos seus equipamentos diminui, fazendo com que a médio ou longo prazo, a exploração dessa fonte energética comece a ser viável.

1.4 Avaliação das Energias Renováveis

Para avaliar as energias renováveis não convencionais no Brasil, tanto a sua produção quanto o seu potencial, alguns aspectos tem que ser levados em consideração. O primeiro ponto a ser observado é que o país possui grandes incentivos para aumentar a participação das energias renováveis na sua matriz energética, como foi mostrado na criação de programas de incentivo a exploração de fontes renováveis, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Outro ponto importante é que o Brasil tem uma grande variedade de recursos naturais e esses recursos tem um grande potencial para serem explorados. Também é necessário examinar a competitividade das fontes renováveis, como:

- Emissão de gás de efeito estufa;
- Custo da energia;
- Número de empregos criados;

- Investimento necessário;
- O *know-how* da tecnologia;
- A opção do país usar a fonte de uma maneira sustentável.

A fonte energética mais utilizada na matriz energética brasileira é a energia hídrica, onde apenas 30% do potencial do país é utilizado, mas a maior parte do potencial brasileiro se encontra na área da floresta amazônica, longe de onde essa energia é mais necessitada. O clima brasileiro pode afetar essa produção de energia, pois em épocas de seca, a energia gerada pelas hidrelétricas diminui consideravelmente.

Como o território brasileiro é muito vasto, existem vários locais isolados, dificultando a sua entrada no Sistema Interligado Nacional (SIN). Nesses locais seria ideal o desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), pois essa alternativa tem a capacidade de geração necessária para atender pequenos centros urbanos e áreas rurais. As PCHs ainda não são instaladas com muita facilidade nesses pequenos centros urbanos ou áreas urbanas devido à burocracia governamental e, também, por pressão de grupos ambientalistas nos locais prestes a receber uma PCH, fazendo com que o licenciamento ambiental do empreendimento seja inviabilizado (IBEJI, 2014).

É esperado que a produção de etanol no Brasil cresça na próxima década (RFA 2016). Um problema que o Brasil pode encarar para o uso da cana de açúcar como biocombustível é o aumento do preço da mesma, que pode afetar diretamente os consumidores (RFA, 2016). Uma alternativa a ser considerada é a produção de etanol de segunda geração para evitar esse problema.

O uso da energia eólica irá aumentar consideravelmente, o que acarretará no seu sucesso como fonte alternativa renovável de geração de energia, pois apesar do seu custo inicial ser alto, o seu custo de manutenção é baixo e os seus impactos causados são pequenos. Tendo em mente isso, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) propôs planos com o principal objetivo de desenvolver o uso da energia eólica para uso doméstico, que auxiliados pela Resolução Normativa nº 687, possibilitam o consumidor de instalar microturbinas eólicas em sua residência e produzir sua própria energia.

O uso da energia solar para aquecimento de água é a maneira mais abundante de uso de energia solar no Brasil. O uso de energia solar para produção de energia elétrica está crescendo e é esperando que continue a crescer, pois essa tecnologia possibilita a criação de mini redes em locais isolados, sendo capaz de suprir a sua demanda, principalmente de áreas rurais.

A energia solar fotovoltaica ainda é uma alternativa para geração de energia que gera muita discussão. Apesar de ser uma tecnologia com muito potencial para o futuro, essa energia tem algumas desvantagens que comprometem o seu uso em larga escala, como:

- Equipamentos muito caros;
- Não gera renda;
- Não gera energia durante 24 horas.

Essa tecnologia tem vários estudos promissores para melhoramento, como o módulo fotovoltaico orgânico, o híbrido entre módulo fotovoltaico e térmico, conhecido como PVT (Photovoltaic Termic). O futuro da tecnologia fotovoltaica é muito promissor, mas depende, principalmente, de incentivos por parte do governo, para aumentar a participação dessa tecnologia na geração de energia do país.

O uso do biohidrogênio para geração de energia ainda é pouco usado. Assim como a fotovoltaica, essa tecnologia tem uma eficiência muito baixa e ainda conta com outras desvantagens que a fazem ser usada em pequena quantidade, como:

- O preço do hidrogênio é estabelecido como matéria prima para o uso na área da química, com um preço elevado, fazendo com que, na economia de hoje, a produção de energia seja inviabilizada economicamente;

- O preço da célula a combustível ainda é muito alto em comparação com outras fontes de energia, fazendo com que essa tecnologia seja pouco aproveitada.

- A maneira de armazenar grandes quantidades de hidrogênio ainda é ineficaz e tem custo elevado;

- O transporte do hidrogênio tem um preço muito elevado, fazendo com que o combustível seja mais caro;

- A vida útil de uma célula combustível é bem inferior à vida útil de outras formas de produção de eletricidade.

A produção de biogás está em crescente desenvolvimento, principalmente na parte de geração distribuída (GD). A ANEEL lançou, em 2012, a chamada nº 014, que tinha como o seu principal objetivo a proposição de projetos de geração de energia a partir do biogás de resíduos/efluentes líquidos, fazendo com que os principais estudos para uso do biogás fossem a partir do lixo e esgoto de cidades, mas o seu maior uso, atualmente, se encontra na região rural do país, onde os produtores de agropecuária, principalmente a criação de bovinos e suínos, aproveitam os resíduos dos animais para criação desse biogás, criando sua independência energética.

Desde a criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), em 2004, a produção de biodiesel no Brasil cresceu bastante, sendo que em 2005, a produção anual de biodiesel foi de aproximadamente 743 m^3 e em 2015 a produção foi de 3.971.190 m^3 (ANP). É esperado que o crescimento da participação dessa fonte aumente cada vez mais e que as maneiras de criação do biodiesel seja mais ampla, diminuindo a dependência das oleaginosas para a sua criação.

As outras fontes de energia que foram citadas nesse texto ainda não têm legislação ou preços para serem competitivas. Porém, como o Brasil tem se comprometido a aumentar cada vez mais a participação das fontes energéticas renováveis na sua matriz, espera-se que essas fontes (biobutanol, entre outras) fiquem com preços competitivos e participem da matriz elétrica brasileira.

1.5 Conclusões

Os objetivos e diretrizes da política energética no Brasil são: a prevalência do conceito de serviço público para a produção e distribuição de energia elétrica aos consumidores não-livres, a modicidade tarifária; a restauração do planejamento na expansão do sistema; a transparência no processo de licitação, permitindo a contestação pública, por técnica e preço, das obras licitadas para o atendimento da demanda por energia elétrica; a mitigação de riscos sistêmicos no abastecimento; a operação coordenada e centralizada necessária e inerente ao sistema hidrotérmico brasileiro; o processo de licitação da concessão do serviço público de geração, priorizando a menor tarifa pela energia gerada e a universalização do acesso e do uso dos serviços de eletricidade (ANEEL, 2008). Visando esses objetivos, o Brasil tem procurado diminuir a sua dependência da energia hídrica na matriz energética nacional e aumentar a diversificação da mesma.

Já é claro que o potencial brasileiro para desenvolvimento de fontes de energia renováveis é muito grande, mas para que esse desenvolvimento realmente aconteça, depende de incentivos do governo para essas fontes, pois algumas ainda não tem se desenvolvido devido ao seu preço.

O futuro das energias renováveis no Brasil é muito promissor. O país tem vários caminhos para percorrer ainda em relação ao desenvolvimento de algumas fontes que podem não ser competitivas hoje em dia, mas que no futuro podem ser grandes soluções para a crescente demanda de energia do país e do mundo.

Capítulo 2: Potencial Energético dos Resíduos Florestais de Minas Gerais[2]

Resumo: **O trabalho a ser apresentado neste projeto consiste no mapeamento Florestal de Minas Gerais identificando os resíduos e equiparando os seus potenciais energéticos no que tange kW. Este trabalho se deu por Minas Gerais possuir a maior floresta plantada de Eucalipto do Brasil, tendo em vista que quando acontece à extração da madeira proveniente da Floresta, os denominados resíduos (galhos, folhas, ponteira e casca), são simplesmente descartados e consequentemente não aproveitados o seu devido potencial energético. Este estudo vem com intuito de demonstrar o quanto será válido o aproveitamento desses resíduos no que tange geração de Energia Elétrica.**

2.1 Objetivo do Projeto

Tendo em vista que Minas Gerais possui a maior floresta plantada de Eucalipto do Brasil, a busca pela identificação da quantidade da área plantada e dos subprodutos e consequentemente do resíduo o subproduto a ser estudado existente em Minas Gerais, é de suma importância para identificação do potencial energético do estado, lembrando que;

Os resíduos florestais geralmente são deixados na floresta por não possuírem valores comerciais, como galhos, folhas e ponteiras (parte superior das árvores), toras que não atingem dimensões mínimas necessárias de uso ou de valor comercial insuficiente que justifique a sua utilização (DO CANTO, 2009).

Tornando questionável, qual seria a quantidade de resíduo ao longo dos anos o quanto de energia poderia ser produzido com este resíduo e se seria rentável a utilização deste meio para produção de energia.

O modelo tecnológico, adaptado ao mundo moderno, apoiou-se muito cedo no emprego preferencial de energia proveniente dos combustíveis não renováveis, tais como carvão mineral, gás natural e petróleo. Esse fato obrigou o ser humano a aumentar drasticamente o consumo de combustíveis fósseis a tal ponto que essas reservas, presumivelmente, segundo vários especialistas se esgotarão nos próximos cem anos (ORTIZ, 1996).

Como consequência dessa previsão e, principalmente das "crises do petróleo", de modo especial as de 1973, 1979 e 1985, os países desenvolvidos tomaram consciência da necessidade de fomentar políticas visando lograr um aproveitamento racional e integral dos recursos energéticos disponíveis, objetivando a redução da dependência de fontes não renováveis de energia de modo especial o petróleo (CORTEZ e LORA, 1997).

Pelo exposto, conclui-se que a estratégia a ser adotada, especialmente pelos países com economias fragilizadas em decorrência da conta petróleo, é a adoção de políticas capazes de propiciar, a curto e médio prazo, o desenvolvimento de novas fontes alternativas de energia, preferencialmente renováveis, limpas e, potencialmente geradoras de novos postos de trabalho, além de contribuir para um melhor equilíbrio das suas respectivas matrizes energéticas (ORTIZ, 1996).

No Brasil, mais de 60% da energia é produzida nas hidrelétricas, que dependem de água em níveis adequados em seus reservatórios para gerar energia. Infelizmente, este ano, a ausência de chuvas foi das maiores das últimas décadas, prejudicando a oferta de energia. Por isso, os consumidores terão uma meta a cumprir: reduzir o consumo de energia em, no mínimo, 20% (BRASIL ESCOLA 2015).

2.1.1 Necessidade a ser atendida

A evolução do consumo de energia, baseada em combustíveis fósseis, conduziu a humanidade para uma matriz energética insegura, cara e, sobretudo, bastante negativa para o meio ambiente. Isso tem levado muitos países a

[2] Trabalho realizado pelo estagiário Heitor Sullivan Gonçalves Aguiar, em 2016.

considerarem a necessidade de profundas mudanças, incluindo a intensificação do aproveitamento de outras fontes energéticas, sobretudo as renováveis, incluindo a madeira (BRITO, 2007).

O Brasil tende a buscar novas alternativas de energia já que agora não podemos mais confiar plenamente na matriz hídrica, pois os reservatórios que diminuiram muito ao longo dos últimos anos por falta de chuva com isso os fluxos dos rios também sofreram com a falta da chuva com isso a diversificação das alternativas para geração de energia é necessária (GÉRARD -MESTRALLET, EXAME, 2014).

Com o aumento gradativo da demanda de energia (2013-2014 teve um crescimento de 2,1% segundo o MME), a busca por novas fontes de energia vem ganhando espaço no mercado nacional como, aumento de 85,6% na oferta por eólica, de 43,4% por óleo, e de 30,9% por lixivia segundo o próprio Ministério de Minas e Energia (MME), com isso percebesse que a busca por fontes que suprem tal necessidade de energia vem ganhando ênfase no mercado brasileiro.

Com essa elevada demanda por energia no Brasil e no mundo ao longo dos anos, o desenvolvimento de pesquisas voltadas para geração de energia a partir de combustíveis renováveis vem crescendo. Nesse contexto, a biomassa florestal, principalmente os resíduos florestais, e os gases da carbonização apresentam destaque, uma vez que, de modo geral, não são utilizados.

2.1.2 Uma visão de Biomassa como fonte de Energia

Como o trabalho que está sendo desenvolvido é único, a concepção do desenvolvimento da solução começou no pressuposto que o resíduo seria somente utilizado para produção de energia diante disso foi feito pesquisa bibliográfica para auxiliar na construção do projeto.

Segundo a pesquisa realizada pela *IEA Bioenergy Task 40* - divisão especializada em bioenergia da Agência Internacional de Energia - aponta que o Brasil é o país que mais utiliza biomassa na produção de energia, sendo16% do uso mundial no setor. Em seguida estão os EUA (9%) e Alemanha (7%). Conforme material publicado, os 15 países do topo dessa lista representam 65% do uso global de biomassa na matriz energética. Atualmente, a biomassa representa cerca de 10% da produção de energia global (JORNAL DA ENERGIA, 2013).

A necessidade de ter uma otimização na produção da floresta energética no que tange utilização do seu potencial para geração de energia, acabou gerando interesse do seu melhor aproveitamento que seria a utilização dos resíduos florestais, levando em conta que esse trabalho está voltado para região de Minas Gerais, e termos uma noção que Minas Gerais possui a maior floresta energética do Brasil, justifica tal interesse sobre o desenvolvimento do projeto.

No setor sucroenergético o bagaço já é utilizado para geração de energia elétrica. Segundo a União da Indústria de Cana de Açúcar (ÚNICA, 2012), uma tonelada de cana produz aproximadamente 280 kg de bagaço e 234 kg de resíduos incluindo palhas e pontas, considerando apenas o bagaço seria possível gerar aproximadamente 86 kWh de energia de exportação (PAINEL FLORESTAL, 2015).

2.1.3 Utilização do Resíduo Florestal com fonte de Energia

A alternativa adotada foi mapear a região para análise de seu potencial florestal, para que possamos ter uma ideia do montante de energia que normalmente é desperdiçada com a má utilização dos resíduos florestais.

Como já mencionado nos tópicos anteriores, este trabalho é único. Para se obter os dados apresentados a seguir foi elaborada uma tabela (TABELA 2.1) que permitisse analisar o consumo do eucalipto em geral desde a madeira até os resíduos. Como Minas Gerais possui uma vasta área plantada, de cerca de 1,8 milhões de hectares, para o desenvolvimento deste projeto foi selecionada uma pequena amostra, sendo ela composta por 29 cidades.

Para escolha das cidades foram consideradas suas áreas plantadas de eucalipto e suas produções de madeira para outras finalidades, carvão e lenha.

Tabela 2.1 – Área plantada por região

Municípios	Área plantada (ha) - 2014	Área plantada em 1 ano	Numero de Árvores por hectares
Águas Vermelhas	8.897,00	1.271,00	1.569.685,00
Bocaiúva	6.749,00	964,14	1.190.716,43
Brasilândia de Minas	35.000,00	5.000,00	6.175.000,00
Buritizeiro	28.500,00	4.071,43	5.028.214,29
Capelinha	21.000,00	3.000,00	3.705.000,00
Carbonita	33.000,00	4.714,29	5.822.142,86
Corinto	5.536,00	790,86	976.708,57
Curvelo	30.684,00	4.383,43	5.413.534,29
Estrela do Sul	39.340,00	5.620,00	6.940.700,00
Felixlândia	22.947,00	3.278,14	4.048.506,43
Francisco Sá	4.953,00	707,57	873.850,71
Grão Mogol	10.700,00	1.528,57	1.887.785,71
Ibiraci	7.200,00	1.028,57	1.270.285,71
Itacambira	9.500,00	1.357,14	1.676.071,43
Itamarandiba	**52.000,00**	7.428,57	9.174.285,71
João Pinheiro	133.000,00	19.000,00	23.465.000,00
Lagoa Grande	12.200,00	1.742,86	2.152.428,57
Lassance	29.000,00	4.142,86	5.116.428,57
Minas Novas	24.000,00	3.428,57	4.234.285,71
Morada Nova de Minas	25.000,00	3.571,43	4.410.714,29
Nanuque	10.300,00	1.471,43	1.817.214,29
Olhos-d'Água	19.600,00	2.800,00	3.458.000,00
Padre Carvalho	10.000,00	1.428,57	1.764.285,71
Rio Pardo de Minas	12.793,00	1.827,57	2.257.050,71
Romaria	37.200,00	5.314,29	6.563.142,86
Sacramento	18.528,00	2.646,86	3.268.868,57
Três Marias	33.210,00	4.744,29	5.859.192,86
Turmalina	14.005,00	2.000,71	2.470.882,14
Uberlândia	21.540,00	3.077,14	3.800.271,43
Somatório	**716.382,00**	**102.340,29**	**126.390.252,86**

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Hoje Minas Gerais possui uma área plantada de Eucalipto de 1.713.576 hectares segundo dados do IBGE 2014, que quando olhamos para âmbito nacional percebemos que Minas Gerais ocupa aproximadamente cerca de 25% da área plantada do Brasil que possui 6.951.145 hectares segundo dados do IBGE 2014.

Para estimativa da quantidade de resíduos disponíveis em Minas Gerais foram considerados dados obtidos da tabela elaborada pela Tese de Doutorado - Ana Flávia Castro em parceria com CEMIG.

Tabela 2.2 – Estimativa de estoque de biomassa média por árvores e por hectare total e nas partes das árvores (folhas, galhos, casca, ponteira, madeira)

Estimativa	Madeira*	Casca	Galhos	Folhas	Ponteira	Total
Biomassa (kg.árvore^{-1})	96,45	8,00	2,43	1,92	0,39	109,19
Biomassa (t.ha^{-1})	128,95	10,69	3,25	2,57	0,52	145,99
Biomassa (%)	88,33%	7,32%	2,23%	1,76%	0,35%	100,00%

*Madeira total excluindo a ponteira

Fonte: Ana Flávia Neves Mendes Castro (2014).

De posse dos dados apresentados na TABELA (2.2) foi elaborada uma tabela que expressasse a quantidade de resíduos que são descartados durante a extração.

Lembrando que para fins de cálculos serão usadas áreas referente a 1 ano, essa área foi delimitada dividindo a área total por 7 anos que e referente à quantidade de anos que uma floresta energética demora chega ao seu ponto de colheita.

Tabela 2.3 – Estimativa de resíduos de biomassa média por árvores e por hectare total e nas partes das árvores (folhas, galhos, casca, ponteira, madeira)

						Valores multiplicadoeres obtidos atraves da tese	Ana Flavia	
Municípios	Área plantada (ha) - 2014	Área plantada em 1 ano	Numero de Árvores por hectares	Biomassa de folhas (Ton ha-1)	Biomassa de galhos (Ton ha-1)	Biomassa de madeira (Ton ha-1)	Biomassa da casca (Ton ha-1)	Biomassa de ponteira (Ton ha-1)
Águas Vermelhas	8.897,00	1.271,00	1.569.685,00	3.266,47	4.130,75	163.895,45	13.586,99	660,92
Bocaiúva	6.749,00	964,14	1.190.716,43	2.477,85	3.133,46	124.326,22	10.306,69	501,35
Brasilândia de Minas	35.000,00	5.000,00	6.175.000,00	12.850,00	16.250,00	644.750,00	53.450,00	2.600,00
Buritizeiro	28.500,00	4.071,43	5.028.214,29	10.463,57	13.232,14	525.010,71	43.523,57	2.117,14
Capelinha	21.000,00	3.000,00	3.705.000,00	7.710,00	9.750,00	386.850,00	32.070,00	1.560,00
Carbonita	33.000,00	4.714,29	5.822.142,86	12.115,71	15.321,43	607.907,14	50.395,71	2.451,43
Corinto	5.536,00	790,86	976.708,57	2.032,50	2.570,29	101.981,03	8.454,26	411,25
Curvelo	30.684,00	4.383,43	5.413.534,29	11.265,41	14.246,14	565.243,11	46.858,85	2.279,38
Estrela do Sul	39.340,00	5.620,00	6.940.700,00	14.443,40	18.265,00	724.699,00	60.077,80	2.922,40
Felixlândia	22.947,00	3.278,14	4.048.506,43	8.424,83	10.653,96	422.716,52	35.043,35	1.704,63
Francisco Sá	4.953,00	707,57	873.850,71	1.818,46	2.299,61	91.241,34	7.563,94	367,94
Grão Mogol	10.700,00	1.528,57	1.887.785,71	3.928,43	4.967,86	197.109,29	16.340,43	794,86
Ibiraci	7.200,00	1.028,57	1.270.285,71	2.643,43	3.342,86	132.634,29	10.995,43	534,86
Itacambira	9.500,00	1.357,14	1.676.071,43	3.487,86	4.410,71	175.003,57	14.507,86	705,71
Itamarandiba	**52.000,00**	7.428,57	9.174.285,71	19.091,43	24.142,86	957.914,29	79.411,43	3.862,86
João Pinheiro	133.000,00	19.000,00	23.465.000,00	48.830,00	61.750,00	2.450.050,00	203.110,00	9.880,00
Lagoa Grande	12.200,00	1.742,86	2.152.428,57	4.479,14	5.664,29	224.741,43	18.631,14	906,29
Lassance	29.000,00	4.142,86	5.116.428,57	10.647,14	13.464,29	534.221,43	44.287,14	2.154,29
Minas Novas	24.000,00	3.428,57	4.234.285,71	8.811,43	11.142,86	442.114,29	36.651,43	1.782,86
Morada Nova de Minas	25.000,00	3.571,43	4.410.714,29	9.178,57	11.607,14	460.535,71	38.178,57	1.857,14
Nanuque	10.300,00	1.471,43	1.817.214,29	3.781,57	4.782,14	189.740,71	15.729,57	765,14
Olhos-d'Água	19.600,00	2.800,00	3.458.000,00	7.196,00	9.100,00	361.060,00	29.932,00	1.456,00
Padre Carvalho	10.000,00	1.428,57	1.764.285,71	3.671,43	4.642,86	184.214,29	15.271,43	742,86
Rio Pardo de Minas	12.793,00	1.827,57	2.257.050,71	4.696,86	5.939,61	235.665,34	19.536,74	950,34
Romaria	37.200,00	5.314,29	6.563.142,86	13.657,71	17.271,43	685.277,14	56.809,71	2.763,43
Sacramento	18.528,00	2.646,86	3.268.868,57	6.802,42	8.602,29	341.312,23	28.294,90	1.376,37
Três Marias	33.210,00	4.744,29	5.859.192,86	12.192,81	15.418,93	611.775,64	50.716,41	2.467,03
Turmalina	14.005,00	2.000,71	2.470.882,14	5.141,84	6.502,32	257.992,11	21.387,64	1.040,37
Uberlândia	21.540,00	3.077,14	3.800.271,43	7.908,26	10.000,71	396.797,57	32.894,66	1.600,11
Somatório	**716.382,00**	**102.340,29**	**126.390.252,86**	**263.014,53**	**332.605,93**	**13.196.779,84**	**1.094.017,65**	**53.216,95**

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Tabela 2.4 – Distribuição dos subprodutos do Eucalipto

País / Estado	Área plantada (ha) - 2014	Biomassa de folhas (Ton ha-1)	Biomassa de galhos (Ton ha-1)	Biomassa de madeira (Ton ha-1)	Biomassa da casca (Ton ha-1)
Minas Gerais	1.713.576,00	4.403.890,32	5.569.122,00	220.965.625,20	18.318.127,44
Brasil	6.951.145,00	17.864.442,65	22.591.221,25	896.350.147,75	74.307.740,05

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Tendo em vista a Tabela 2.4, o total de resíduos (folhas, galhos e casca) será de aproximadamente 28.291.140 toneladas por hectares que serão descartados e consequentemente não aproveitados.

Com isso percebe-se a importância do desenvolvimento de um trabalho voltado para o aproveitamento destes resíduos. Nota-se também que Minas Gerais possui a maior participação no que tange floresta plantada no Brasil, como é refletido na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Área ocupada com árvores de eucalipto, 2006 - 2013

ESTADO	ÁREA OCUPADA POR ÁRVORES DE EUCALIPTO (ha)							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
MINAS GERAIS	1.181.429	1.218.212	1.278.210	1.300.000	1.400.000	1.401.787	1.438.971	1.404.429
SÃO PAULO	915.841	911.908	1.001.080	1.029.670	1.044.813	1.031.677	1.041.695	1.010.444
MATO GROSSO DO SUL	119.319	207.687	265.250	290.890	378.195	475.528	587.310	699.128
BAHIA	540.172	550.127	587.610	628.440	631.464	607.440	605.464	623.971
RIO GRANDE DO SUL	184.245	222.245	277.320	271.980	273.042	280.198	284.701	316.446
ESPÍRITO SANTO	207.800	208.819	210.410	204.570	203.885	197.512	203.349	221.559
MARANHÃO	93.285	106.802	111.120	137.360	151.403	165.717	173.324	209.249
PARANÁ	121.908	123.070	142.430	157.920	161.422	188.153	197.835	200.473
MATO GROSSO[4]	113.770	114.854	132.922	147.378	150.646	175.592	184.628	187.090
PARÁ	115.806	126.286	136.290	139.720	148.656	151.378	159.657	159.657
GOIÁS[5]	98.765	102.032	113.177	115.286	116.439	118.636	115.567	121.375
TOCANTINS	13.901	21.655	31.920	44.310	47.542	65.502	109.000	111.131
SANTA CATARINA	70.341	74.008	77.440	100.140	102.399	104.686	106.588	107.345
AMAPÁ	58.473	58.874	63.310	62.880	49.369	50.099	49.506	57.169
PIAUÍ	-	-	-	-	37.025	26.493	27.730	28.053
OUTROS	27.491	31.588	27.580	28.380	4.650	9.314	18.838	15.657
TOTAL	**3.862.546**	**4.078.168**	**4.456.069**	**4.658.924**	**4.900.949**	**5.049.714**	**5.304.164**	**5.473.176**

Fonte: Indústria brasileira de árvores (Ibá).

Como já mensurado no texto acima na Tabela 2.4, a quantidade de resíduos descartados em Minas Gerais é grande, aproximadamente 28,3 milhões de toneladas incluindo folhas, galhos e cascas. Para se ter uma noção de quanto esse descarte reflete na produção de energia, esse mesmo descarte foi convertido para energia (kWh) e consequentemente para potência (kW).

Para chegar a ter posse do potencial energético dos resíduos florestais de Minas Gerais teve que seguir alguns passos;

- 1° Passo cálculo do Potencial energético de todos subprodutos do Eucalipto

Para chegar a tal parâmetro foram calculados os potenciais de Energéticos da folha, casca, madeira e galho através da fórmula;

$$PE = Biomassa \; x \; PCS \; x \; 4{,}19002$$

Lembrando que;

PE = Potencial Energético

Biomassa = Biomassa de madeira, casca, galhos ou folhas (kg);

PCS = Poder calorífico superior da madeira, casca, galhos ou folhas (kcal/kg).

4,19002 = Fator de conversão para kj.

O poder calorifico adotado para cada subproduto foi retirado da tabela produzida pela Tese de Doutorado - Ana Flávia Castro, 2014.

Tabela 2.6 - Valores médios, ponderados por classe de dap, observados para densidade, poder calorífico superior e análise química imediata da madeira, da casca, dos galhos e das folhas

Componentes das árvores	Densidade ($kg.m^{-3}$)	PCS ($kcal.kg^{-1}$)	Análise Química Imediata		
			Voláteis	Cinzas	Carbono fixo
				(%)	
Madeira	517,8 (Básica)	4588	84,95	0,18	14,90
Casca	330,6 (Básica)	4400	81,23	2,65	16,12
Galho	-	4688	81,11	2,25	16,64
Folha	-	5082	76,86	4,31	18,83

Fonte: Ana Flávia Neves Mendes Castro (2014).

De posse de tal dados foi elaborado uma tabela com os valores referentes de potencial energético das amostras de 29 cidades adotadas no projeto.

Tabela 2.7 – Potencial Energético dos municípios, 2014.

Cidades	Biomassa de folhas potencia (kj)	Biomassa de galhos potencia (kj)	Biomassa de madeira potencia (kj)	Biomassa da casca potencia (kj)
Águas Vermelhas	69.555.172,27	81.139.552,94	3.150.695.279,12	250.490.943,30
Bocaiúva	52.762.488,21	61.550.055,39	2.390.023.877,57	190.014.991,15
Brasilândia de Minas	273.623.809,07	319.195.723,60	12.394.552.632,26	985.408.903,60
Buritizeiro	222.807.958,82	259.916.517,79	10.092.707.143,41	802.404.392,93
Capelinha	164.174.285,44	191.517.434,16	7.436.731.579,36	591.245.342,16
Carbonita	257.988.162,84	300.955.967,97	11.686.292.481,85	929.099.823,39
Corinto	43.279.468,77	50.487.643,60	1.960.464.096,35	155.863.534,01
Curvelo	239.882.084,50	279.834.330,94	10.866.127.227,66	863.893.908,52
Estrela do Sul	307.553.161,40	358.775.993,33	13.931.477.158,66	1.107.599.607,65
Felixlândia	179.395.587,05	209.273.836,27	8.126.222.835,78	646.062.231,74
Francisco Sá	38.721.677,90	45.170.754,83	1.754.006.262,50	139.449.437,13
Grão Mogol	83.650.707,35	97.582.692,64	3.789.191.804,72	301.253.579,10
Ibiraci	56.288.326,44	65.663.120,28	2.549.736.541,49	202.712.688,74
Itacambira	74.269.319,61	86.638.839,26	3.364.235.714,47	267.468.130,98
Itamarandiba	406.526.802,05	474.233.646,49	18.414.763.910,79	1.464.036.085,35
João Pinheiro	1.039.770.474,48	1.212.943.749,68	47.099.300.002,59	3.744.553.833,68
Lagoa Grande	95.377.442,02	111.262.509,37	4.320.386.917,53	343.485.389,25
Lassance	226.716.870,38	264.476.456,70	10.269.772.181,02	816.481.662,98
Minas Novas	187.627.754,79	218.877.067,61	8.499.121.804,98	675.708.962,47
Morada Nova de Minas	195.445.577,91	227.996.945,43	8.853.251.880,19	703.863.502,57
Nanuque	80.523.578,10	93.934.741,52	3.647.539.774,64	289.991.763,06
Olhos-d'Água	153.229.333,08	178.749.605,22	6.940.949.474,07	551.828.986,02
Padre Carvalho	78.178.231,16	91.198.778,17	3.541.300.752,07	281.545.401,03
Rio Pardo de Minas	100.013.411,13	116.670.596,91	4.530.386.052,13	360.181.031,54
Romaria	290.823.019,93	339.259.454,80	13.173.638.797,72	1.047.348.891,83
Sacramento	144.848.626,70	168.973.096,20	6.561.322.033,44	521.647.319,03
Três Marias	259.629.905,70	302.871.142,31	11.760.659.797,64	935.012.276,82
Turmalina	109.488.612,75	127.723.888,83	4.959.591.703,28	394.304.334,14
Uberlândia	168.395.909,93	196.442.168,18	7.627.961.819,97	606.448.793,82
Somatório	**5.600.547.759,77**	**6.533.316.310,40**	**253.692.411.537,25**	**20.169.405.747,97**

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

A mesma tabela foi elaborada comparando o estado de Minas Gerais e o Brasil;

Tabela 2.8 – Potencial Energético comparando Minas Gerais e Brasil, 2014

País / Estado	Biomassa de folhas potencia (kj)	Biomassa de galhos potencia (kj)	Biomassa de madeira potencia (kj)	Biomassa da casca potencia (kj)
Brasil	380.399.754.465,14	443.755.151.624,70	17.231.266.511.394,20	1.369.944.034.642,92
Minas Gerais	93.775.038.451,56	109.393.226.252,72	4.247.801.584.275,51	337.714.609.479,06

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Em seguida os valores encontrados foram multiplicados pelo fator de conversão 0,0002778 (joule) para obter kWh esse valor de multiplicação foi obtido através da tabela de Fatores de Conversão Sistema Internacional (SI) diante disse foram encontrados os seguintes valores;

Tabela 2.9 – Energia gerada por subprodutos dos municípios, 2014

Cidades	Biomassa de folhas Energia (kWh)	Biomassa de galhos Energia (kWh)	Biomassa de madeira Energia (kWh)	Biomassa da casca Energia (kWh)
Águas Vermelhas	19.322,43	22.540,57	875.263,15	69.586,38
Bocaiúva	14.657,42	17.098,61	663.948,63	52.786,16
Brasilândia de Minas	76.012,69	88.672,57	3.443.206,72	273.746,59
Buritizeiro	61.896,05	72.204,81	2.803.754,04	222.907,94
Capelinha	45.607,62	53.203,54	2.065.924,03	164.247,96
Carbonita	71.669,11	83.605,57	3.246.452,05	258.103,93
Corinto	12.023,04	14.025,47	544.616,93	43.298,89
Curvelo	66.639,24	77.737,98	3.018.610,14	239.989,73
Estrela do Sul	85.438,27	99.667,97	3.870.164,35	307.691,17
Felixlândia	49.836,09	58.136,27	2.257.464,70	179.476,09
Francisco Sá	10.756,88	12.548,44	487.262,94	38.739,05
Grão Mogol	23.238,17	27.108,47	1.052.637,48	83.688,24
Ibiraci	15.636,90	18.241,21	708.316,81	56.313,58
Itacambira	20.632,02	24.068,27	934.584,68	74.302,65
Itamarandiba	112.933,15	131.742,11	5.115.621,41	406.709,22
João Pinheiro	288.848,24	336.955,77	13.084.185,54	1.040.237,05
Lagoa Grande	26.495,85	30.908,73	1.200.203,49	95.420,24
Lassance	62.981,95	73.471,56	2.852.942,71	226.818,61
Minas Novas	52.122,99	60.804,05	2.361.056,04	187.711,95
Morada Nova de Minas	54.294,78	63.337,55	2.459.433,37	195.533,28
Nanuque	22.369,45	26.095,07	1.013.286,55	80.559,71
Olhos-d'Água	42.567,11	49.656,64	1.928.195,76	153.298,09
Padre Carvalho	21.717,91	25.335,02	983.773,35	78.213,31
Rio Pardo de Minas	27.783,73	32.411,09	1.258.541,25	100.058,29
Romaria	80.790,63	94.246,28	3.659.636,86	290.953,52
Sacramento	40.238,95	46.940,73	1.822.735,26	144.913,63
Três Marias	72.125,19	84.137,60	3.267.111,29	259.746,41
Turmalina	30.415,94	35.481,70	1.377.774,58	109.537,74
Uberlândia	46.780,38	54.571,63	2.119.047,79	168.471,47
Somatório	**1.555.832,17**	**1.814.955,27**	**70.475.751,93**	**5.603.060,92**

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

A mesma tabela foi elaborada comparando o estado de Minas Gerais e o Brasil;

Tabela 2.10 – Energia gerada por subprodutos comparando Minas Gerais e Brasil, 2014

País / Estado	Energia gerada da folhas kWh	Energia gerada do galhos kWh	Energia gerada da madeira kWh	Energia gerada da casca kWh
Brasil	105.675.051,79	123.275.181,12	4.786.845.836,87	380.570.452,82
Minas Gerais	26.050.705,68	30.389.438,25	1.180.039.280,11	93.817.118,51

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Após a descoberta da quantidade de energia produzida por região foi utilizado um modelo de cálculo proposto por Carvalho em que;

Fator de Carga = 0,60

Fator de Disponibilidade = 0,97

Para descobrir a potência disponível em 1 ano foi utilizado a seguinte equação;

$$Potência\ (em\ KW) x\ 24\ horas\ x\ 365\ dias\ x\ 0{,}97\ x\ 0{,}60 = kWh$$

Como já foi calculado o kWh e deseja-se encontra a Potência Gerada a equação ficará;

$$Potência\ (em\ KW) = \frac{\text{Energia (em kWh)}}{24\ horas\ x\ 365\ dias\ x\ 0{,}97\ x\ 0{,}60}$$

Diante desta equação foi encontrado o potencial das amostras adotadas no projeto obtendo os seguintes valores.

Tabela 2.11 – Potência gerada dos municípios, 2014

Cidades	Biomassa de folhas potencia (kw)	Biomassa de galhos potencia (kw)	Biomassa de madeira potencia (kw)	Biomassa da casca potencia (kw)
Águas Vermelhas	3,79	4,42	171,68	13,65
Bocaiúva	2,87	3,35	130,23	10,35
Brasilândia de Minas	14,91	17,39	675,36	53,69
Buritizeiro	12,14	14,16	549,94	43,72
Capelinha	8,95	10,44	405,22	32,22
Carbonita	14,06	16,40	636,77	50,63
Corinto	2,36	2,75	106,82	8,49
Curvelo	13,07	15,25	592,08	47,07
Estrela do Sul	16,76	19,55	759,11	60,35
Felixlândia	9,78	11,40	442,79	35,20
Francisco Sá	2,11	2,46	95,57	7,60
Grão Mogol	4,56	5,32	206,47	16,41
Ibiraci	3,07	3,58	138,93	11,05
Itacambira	4,05	4,72	183,31	14,57
Itamarandiba	22,15	25,84	1.003,39	79,77
João Pinheiro	56,66	66,09	2.566,37	204,04
Lagoa Grande	5,20	6,06	235,41	18,72
Lassance	12,35	14,41	559,58	44,49
Minas Novas	10,22	11,93	463,10	36,82
Morada Nova de Minas	10,65	12,42	482,40	38,35
Nanuque	4,39	5,12	198,75	15,80
Olhos-d'Água	8,35	9,74	378,20	30,07
Padre Carvalho	4,26	4,97	192,96	15,34
Rio Pardo de Minas	5,45	6,36	246,85	19,63
Romaria	15,85	18,49	717,81	57,07
Sacramento	7,89	9,21	357,52	28,42
Três Marias	14,15	16,50	640,82	50,95
Turmalina	5,97	6,96	270,24	21,49
Uberlândia	9,18	10,70	415,64	33,04
somatório	305,17	355,99	13.823,33	1.099,00

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

A mesma tabela foi elaborada comparando o estado de Minas Gerais e o Brasil.

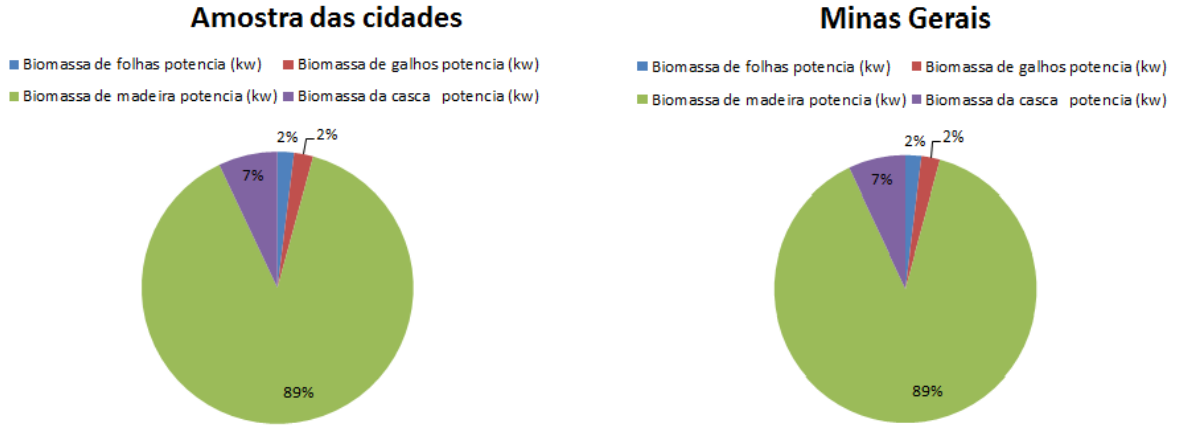
Tabela 2.12 – Potência gerada por subprodutos comparando Minas Gerais e Brasil, 2014

País / Estado	Biomassa de folhas potencia (kw)	Biomassa de galhos potencia (kw)	Biomassa de madeira potencia (kw)	Biomassa da casca potencia (kw)
Brasil	20.727,43	24.179,57	938.906,51	74.646,25
Minas Gerais	5.109,66	5.960,68	231.456,50	18.401,58

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Através dos dados obtidos foi elaborado um gráfico para equiparar as amostras adotadas no trabalho com Minas Gerais e com o Brasil para ter certeza de que as amostras adotadas se condizem com o patamar Minas Gerais no que se tange Potencial Energético (kW).

Gráfico 2.1 – Distribuição dos subprodutos



Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Com isso percebemos que as amostras adotadas para produção do trabalho seguiu a mesma linha de consumo que todo o estado de Minas Gerais justificando assim a escolha das mesmas.

Concluímos também que 11% de toda energia que poderia ser produzida está sendo descartada.

2.1.4 Utilização do Carvão Florestal como fonte de Energia

- 1° Passo cálculo do Potencial energético Carvão

Para chegar a tal parâmetro foram calculados os potenciais de Energéticos da folha, casca, madeira e galho através da fórmula;

$$PE = Biomassa \; x \; PCS \; x \; 4{,}19002$$

Lembrando que;

PE = Potencial Energético

Biomassa = Biomassa de madeira, casca, galhos ou folhas (kg);

PCS = Poder calorífico superior do carvão (8134) (kcal/kg).

4,19002 = Fator de conversão para kj.

O poder calorifico adotado para cada subproduto foi retirado da tabela produzida pela Tese de Doutorado - Ana Flávia Castro, 2014.

- 2° Passo cálculo da Energia do Carvão

Em seguida os valores encontrados foram multiplicados pelo fator de conversão 0,0002778 (joule) para obter kWh esse valor de multiplicação foi obtido através da tabela de Fatores de Conversão Sistema Internacional (SI) diante disse foram encontrados os valores Tabela 14.

- 3° Passo cálculo da Potência do Carvão

Após a descoberta da quantidade de energia produzida por região foi utilizado um modelo de cálculo proposto por Carvalho em que;

Fator de Carga = 0,60

Fator de Disponibilidade = 0,97

Para descobrir a potência disponível em 1 ano foi utilizado a seguinte equação;

$$Potência\ (em\ KW)\ x\ 24\ horas\ x\ 365\ dias\ x\ 0{,}97\ x\ 0{,}60 = kWh$$

Como já foi calculado o kWh e deseja-se encontrar a Potência Gerada a equação ficará;

$$Potência\ (em\ KW) = \frac{\text{Energia (em kWh)}}{24\ horas\ x\ 365\ dias\ x\ 0{,}97\ x\ 0{,}60}$$

Diante desta equação foi encontrado o potencial das amostras adotadas no projeto, obtendo os seguintes valores de acordo com a Tabela 2.13.

Tabela 2.13 – Potencial de geração de energia elétrica por hectare em função das diferentes biomassas

Parâmetros	Madeira	Casca	Galho	Folha	Carvão	Atiços	Finos (0-2 mm)	Finos (2-9 mm)
PCS (Kcal/kg)	4.588	4.406	4.688	5.082	8.134	6.237	5.074	8.085
Umidade (%)	30,0	18,0	50,0	60,0	4,0	8,0	5,0	5,0
PC líquido (kcal/kg)	2.805	3.239	1.882	1.543	7.474	5.392	4.483	7.343
Massa de resíduo (t/ha)	129,0	10,7	3,3	2,6	42,2	7,2	7,3	5,3
Energia térmica (kcal/ha) (x 1000)	361.678,96	34.627	6.117	3.966	315.311	38.876	32.767	38.918
Energia elétrica (kwh/ha)	420.556,93	40.265	7.112	4.612	463.102	45.205	38.101	45.253
Energia Elétrica - eficiência de 11% - (kwh/ha)	46.261	4.429	782	507	50.941	4.973	4.191	4.978
Potencial de energia elétrica a ser gerada (Mwh)	46,3	4,4	0,8	0,5	50,9	5,0	4,2	5,0

Fonte: Ana Flávia Neves Mendes Castro (2014).

De posse de tal dados foi elaborado uma tabela com os valores referentes de potencial energético das amostras de 29 cidades adotadas no projeto.

Tabela 2.14 – Potencial Energético, Energia e Potência dos municípios, 2014

			Valores multiplicadoeres obtidos atraves da tese Ana Flavia			
Cidades	Área plantada em 1 ano	Numero de Árvores por hectares	Biomassa de Carvão (Ton ha-1)	Potencial Energetico de Carvão (kj)	Energia da Carvão (kWh)	Biomassa de Carvão potencia (kw)
Águas Vermelhas	1.271,00	1.569.685,00	53.623,49	1.827.575.552,96	507.700,49	99,58
Bocaiúva	964,14	1.190.716,43	40.677,19	1.386.344.543,89	385.126,51	75,54
Brasilândia de Minas	5.000,00	6.175.000,00	210.950,00	7.189.518.304,35	1.997.248,18	391,75
Buritizeiro	4.071,43	5.028.214,29	171.773,57	5.854.322.047,82	1.626.330,66	318,99
Capelinha	3.000,00	3.705.000,00	126.570,00	4.313.710.982,61	1.198.348,91	235,05
Carbonita	4.714,29	5.822.142,86	198.895,71	6.778.688.686,95	1.883.119,72	369,36
Corinto	790,86	976.708,57	33.366,26	1.137.176.380,94	315.907,60	61,96
Curvelo	4.383,43	5.413.534,29	184.936,85	6.302.947.990,02	1.750.958,95	343,44
Estrela do Sul	5.620,00	6.940.700,00	237.107,80	8.081.018.574,08	2.244.906,96	440,32
Felixlândia	3.278,14	4.048.506,43	138.304,85	4.713.653.615,14	1.309.452,97	256,84
Francisco Sá	707,57	873.850,71	29.852,44	1.017.419.547,47	282.639,15	55,44
Grão Mogol	1.528,57	1.887.785,71	64.490,43	2.197.938.453,04	610.587,30	119,76
Ibiraci	1.028,57	1.270.285,71	43.395,43	1.478.986.622,61	410.862,48	80,59
Itacambira	1.357,14	1.676.071,43	57.257,86	1.951.440.682,61	542.110,22	106,33
Itamarandiba	7.428,57	9.174.285,71	313.411,43	10.681.570.052,17	2.967.340,16	582,02
João Pinheiro	19.000,00	23.465.000,00	801.610,00	27.320.169.556,51	7.589.543,10	1.488,64
Lagoa Grande	1.742,86	2.152.428,57	73.531,14	2.506.060.666,09	696.183,65	136,55
Lassance	4.142,86	5.116.428,57	174.787,14	5.957.029.452,17	1.654.862,78	324,59
Minas Novas	3.428,57	4.234.285,71	144.651,43	4.929.955.408,69	1.369.541,61	268,63
Morada Nova de Minas	3.571,43	4.410.714,29	150.678,57	5.135.370.217,39	1.426.605,85	279,82
Nanuque	1.471,43	1.817.214,29	62.079,57	2.115.772.529,56	587.761,61	115,29
Olhos-d'Água	2.800,00	3.458.000,00	118.132,00	4.026.130.250,43	1.118.458,98	219,38
Padre Carvalho	1.428,57	1.764.285,71	60.271,43	2.054.148.086,96	570.642,34	111,93
Rio Pardo de Minas	1.827,57	2.257.050,71	77.105,24	2.627.871.647,64	730.022,74	143,19
Romaria	5.314,29	6.563.142,86	224.209,71	7.641.430.883,48	2.122.789,50	416,37
Sacramento	2.646,86	3.268.868,57	111.670,90	3.805.925.575,51	1.057.286,12	207,38
Três Marias	4.744,29	5.859.192,86	200.161,41	6.821.825.796,78	1.895.103,21	371,71
Turmalina	2.000,71	2.470.882,14	84.410,14	2.876.834.395,78	799.184,60	156,75
Uberlândia	3.077,14	3.800.271,43	129.824,66	4.424.634.979,30	1.229.163,60	241,09
somatório	102.340,29	126.390.252,86	4.317.736,65	147.155.471.482,97	40.879.789,98	8.018,29

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

A mesma tabela foi elaborada comparando o estado de Minas Gerais e o Brasil.

Tabela 2.15 – Potencial Energético, Energia e Potência comparando Minas Gerais e Brasil, 2014

País / Estado	Área plantada (ha) - 2014	Biomassa de Carvão (Ton ha-1)	Potencial Energetico de Carvão (kj)	Energia da Carvão (kWh)	Biomassa de Carvão potencia
Minas Gerais	1.713.576,00	72.295.771,44	2.463.957.203.577,60	684.487.311,15	134.257,42
Brasil	6.951.145,00	293.268.807,55	9.995.076.842.732,63	2.776.632.346,91	544.617,12

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Se formos analisar o potencial do carvão nas amostras, a potência que poderia ser utilizada seria de 8 MW levando para o âmbito regional Minas Gerais disponibiliza de 134,25 MW de potência oriunda do carvão e tendo uma visão mais ampla o potencial do carvão oriundo de floresta plantada no Brasil gira em torno de 545 MW,

com isso concluímos que a potência gerada através desta fonte significativamente atraente no que tange mercado de Energia.

2.2 Aspectos conjunturais

Os estudos sobre a demanda de eletricidade envolveram a análise prospectiva da evolução socioeconômica e demográfica de Minas Gerais, assim como estudos setoriais contemplando os principais setores da economia. Em destaque, analisou-se a dinâmica do mercado dos principais segmentos industriais, alguns dos quais estão inseridos numa lógica de competição global. Aspectos importantes que também foram contemplados no estudo referem-se ao aproveitamento das ações de eficiência energética, vistas pelo lado da demanda, assim como às perspectivas de autoprodução de energia elétrica, principalmente na indústria, aproveitando as oportunidades de cogeração a partir de resíduos do processo (EPE, 2015).

2.2.1 Econômicos

Alguns trabalhos mostram que a utilização de biomassa não é economicamente viável, porem a maioria deste trabalhos estão se referindo a cogeração de energia, seja para venda ou auto consumo e importante salientar que este estudo difere de estudos voltados para cogeração, pois a finalidade deste projeto não visa à venda de energia gerada e sim o aproveitamento de resíduos para utilização direta em geração de energia (ENERG. AGRIC, 2005).

Lembrando que o aspecto econômico dos resíduos florestais está ligada diretamente a idade de corte, pois uma floresta energética de eucalipto demora 7 anos após o plantio para chegar na idade de corte pois os custos tendem a aumentar com a idade das árvores, visto que o volume da biomassa aumenta com a idade.

Tendo em vista que o aproveitamento dos resíduos florestais, não tem um mercado disponível atualmente, ou seja, o custos de oportunidade no que tange compra de matéria prima aproxima de zero sendo assim constituem de uma alternativa atrativa do ponto de vista econômico, no sentido de racionalização de resíduos florestais.

2.2.2 Sociais

Segundo a revista da madeira a inovação na implantação de florestas comerciais tem colocado o Brasil em destaque no mundo pela alta produtividade e custos competitivos que são vantagens comparativas decisivas para o negócio florestal. Florestas para fins energéticos agregam valores econômicos importantes para melhoria de condições sociais no campo de forma direta e nas cidades de forma indireta.

Destaca também a viabilidade social do plantio de florestas energéticas, uma vez que o setor gera empregos e "segura o homem no campo". Doutor em Energia, ele alerta que, embora seja um recurso natural, renovável e economicamente competitivo com outras fontes, a alternativa ainda enfrenta alguns desafios, como as restrições governamentais à compra de terras por grupos estrangeiros e o excesso de burocracia, que diminui a competitividade. Se, por um lado, o cenário é promissor, na análise de Uhlig é necessário "regularizar a compra de terras por grupos nacionais com capital estrangeiro, agilizar e desburocratizar o processo de licenças ambientais, fornecer financiamentos com custos mais interessantes e adotar uma legislação trabalhista simplificada" (Uhlig, 2015).

O desenvolvimento de tecnologias inovadoras que transformem os resíduos de biomassa em energia renovável proporciona melhores condições de vida para quem vive nas grandes cidades e gera emprego e renda para quem produz nas regiões rurais.

2.2.3 Ambientais

O Brasil, hoje, já se destaca no cenário mundial por ser possuidor das matrizes energéticas menos poluentes de todo o Planeta. Derivadas principalmente de fontes renováveis, como é o caso da produção do etanol a partir da cana-de-açúcar que atende grande parte da frota dos veículos brasileiros, tais matrizes posicionam o País como

um dos que mais detêm experiência no uso dos biocombustíveis. Além de contribuírem positivamente nas questões ambientais visam assegurar o futuro energético do Planeta quando a exploração do petróleo se tornar inviável técnica e economicamente (REVISTA ECO, 2014).

Segundo os dados do Balanço Energético Nacional de 2008 (ano base 2007), o Brasil manteve vantagens comparativas com o resto do mundo em termos de utilização de fontes renováveis de energia. Em 2007, oferta interna de energia renovável foi de 45,9%, enquanto a média mundial foi de 12,9% e nos países da OECD (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) foi de apenas 6,7% (MME, 2008).

Podemos cita alguns usos da biomassa florestal para fins energético que contribuem diretamente para sustentabilidade:

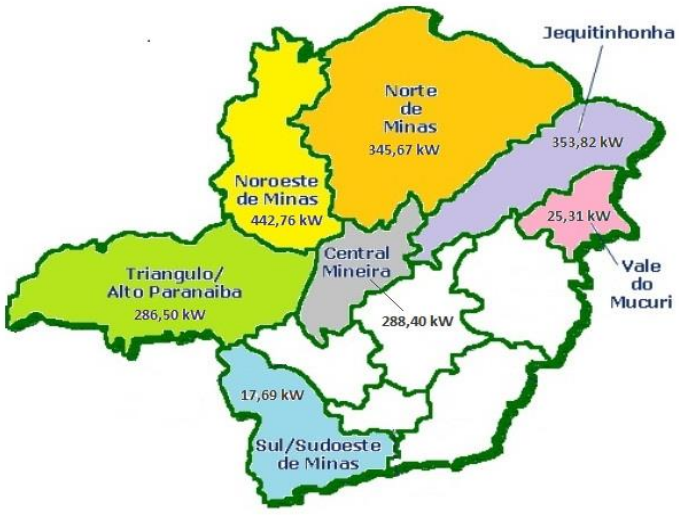
- Diminuição do consumo de combustíveis fósseis;
- Diminuição de emissões de gases do efeito estufa e causadores de mudanças climáticas;
- Aumento do desenvolvimento rural, criação de empregos e economia local;
- Diminuição do risco de incêndio florestal;
- Fatores do uso da biomassa florestal com fins energéticos que contribuem para a sustentabilidade:
- Diminuição do consumo de combustíveis fósseis.

A mitigação das mudanças climáticas e principalmente o combate à poluição ambiental estão diretamente ligados à substituição dos combustíveis fósseis e nuclear pela energia renovável da biomassa.

2.3 Mapeamento Energético de Resíduos Florestais

O Mapa 2.1 demonstra a distribuição de Potência por micro regiões do estado de Minas Gerais.

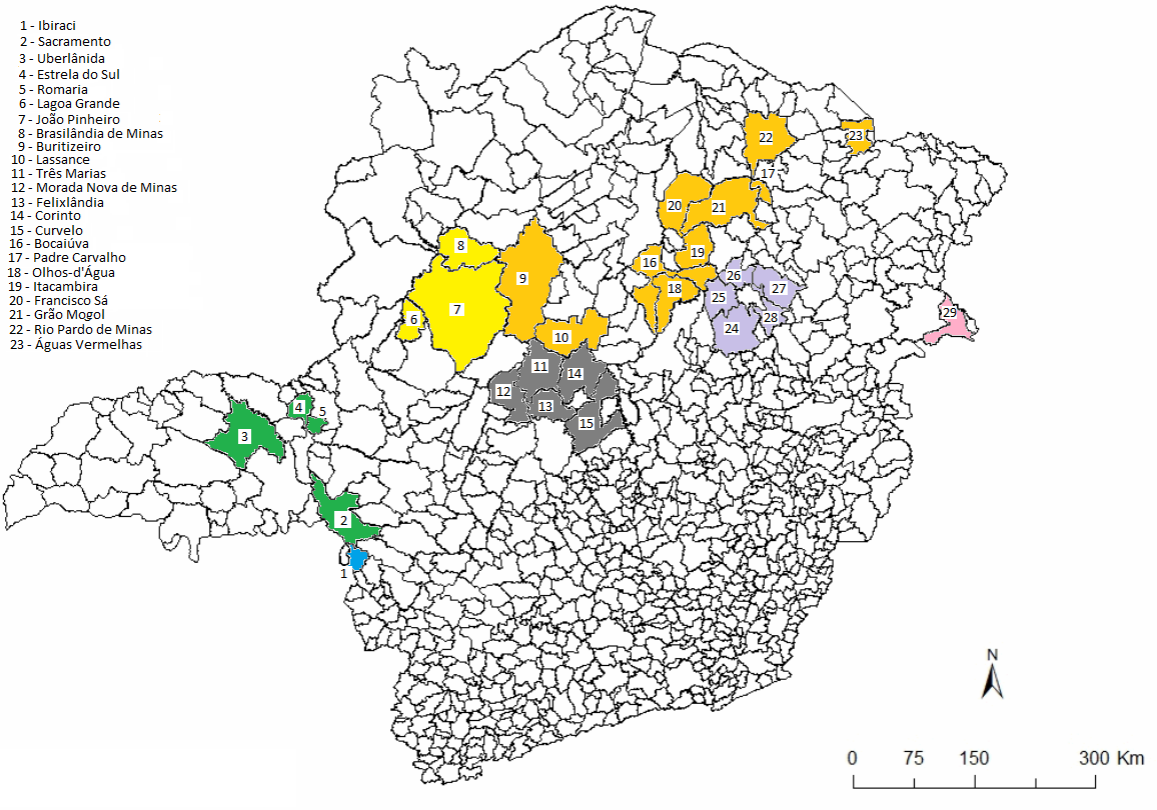
Mapa 2.1 – Mapeamento por microrregiões



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O Mapa 2.2 demonstra a distribuição das 29 cidades do estado de Minas Gerais adotadas para o desenvolvimento do projeto.

Mapa 2.2 – Mapeamento por microrregiões

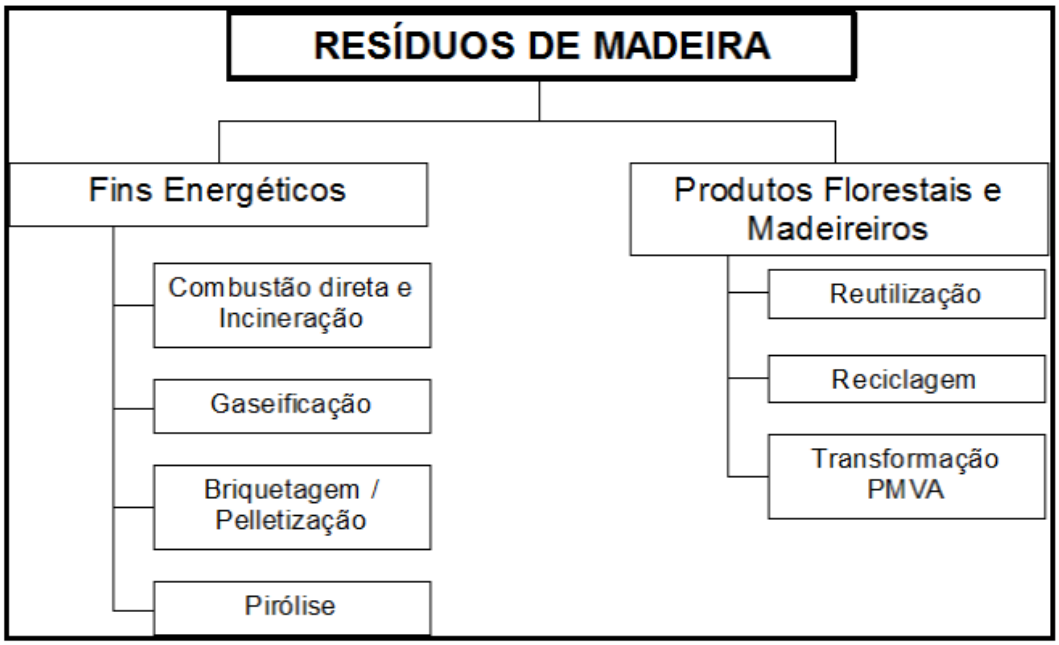


Fonte: Elaborado pelo Autor.

2.4 Alternativas Tecnológicas

Podemos dividir em dois, os destinos principais do uso dos resíduos florestais, 1º são os PMVA (produtos de maior valor agregado), 2º para fins energéticos que é o foco deste projeto a Figura 2.1 a seguir retrata essa divisão. De um modo geral a utilização dos resíduos florestais para fins energéticos podem gerar energia térmica, elétrica ou ate mesmo ambas (cogeração), através de sua combustão direta ou incineração, gaseificação e na pirólise (produção de carvão).

Figura 2.1 – Alternativas para uso de Resíduo de Madeira



Fonte: LPF (Laboratório de Produtos Florestais)

2.4.1 Combustão direta

Nesta etapa utiliza o resíduo florestal como combustível, utilizando a queima do mesmo na caldeira com intuito de se beneficiar com a cogeração que basicamente aproveita o vapor gerado através da queima dos resíduos para alimentar uma turbina que irá acionar um gerador elétrico e consequentemente gerará energia elétrica. Em alguns casos opta-se por utilizar um motor alternativo no lugar da turbina que também trabalha com intuito de acionar um gerador a vantagem pela escolha do motor será o menor custo de investimento.

2.4.2 Gaseificação

Esse processo gera energia térmica e elétrica, o gás proveniente dos gaseificadores podem ser utilizados para alternativas distintas, nas quais a utilização dos resíduos em caldeira para geração de vapor citado no item 4.1. Entre alternativas para utilização estão secagem de peças de cerâmica, queima em câmera de combustão interna (Otto) e externa (Stirling), em turbinas a gás e células combustíveis porem para a utilização no que tange valores econômicos deste gás o mesmo precisa passar por um tratamento para sua utilização final (BIOMASSA & ENERGIA ,2005).

2.4.3 Briquetagem e Peletização

Briquetagem é o processo de produção de briquetes, este processo basicamente consiste na densificação dos resíduos da madeira e sem qualquer adicional químico, o pallets e os briquetes como são produtos de capacidades energéticas equivalentes principalmente quando são pulverizados e inclusive possuem a mesma opção de uso o que acaba diferindo um do outro são suas dimensões os pellets possuem diâmetro variando entre 6 mm e 16 mm com 10 a 40 mm de comprimento, enquanto os briquetes possuem em média um diâmetro a partir de 50 mm com 15 a 400 mm de comprimento. Como suas principais características temos que seu alto poder calorífico, maior temperatura de chama, regularidade térmica, fácil manuseio, transporte e armazenagem.

2.4.4 Pirólise

O processo inicia-se com a conversão da biomassa original em biomassa ativa, através da formação de pontes reativas as quais irão consequentemente reagir, levando à libertação de asfaltos condensáveis, gases e energia, permanecendo uma fração rica em minerais e carbono, designado resíduo carbonoso. Este processo se dá devido à biomassa ser submetida a um aquecimento com temperaturas relativamente baixa (500-800 ºC) em atmosfera não oxidante gerando assim uma formação de um resíduo solido rico em carbono e também uma fração volátil composta por gases e vapores orgânicos condensáveis (licor pirolenhoso) podemos dizer que a pirolise consiste em um conjunto de complexas reações químicas acompanhadas de processos de transferência de calor e massa.

2.5 Cronograma

O desenvolvimento deste projeto foi dividido em etapas e elas estão apresentadas no cronograma abaixo. Abaixo do cronograma está a legenda que identifica cada uma das etapas demonstradas no cronograma.

ETAPAS	Nov/	Dez/	Jan/	Fev/	Mar/	Abr/	Mai/	Jun/	Jul/	Ago/	Set/
1	**X**	X	X	X							
2				X	X	X					
3				X	X	X					
4					X	X					
5						X					

Sendo: 1 - Objetivo do Projeto; 2 - Aspectos conjunturais; 3 - Mapeamento Energético de Resíduos Florestais; 4 - Alternativas Tecnológicas; 5 - Cronograma e conclusão.

2.6 Conclusão

Hoje a utilização de resíduos para fins energéticos em Minas Gerais pode-se dizer que está sendo cada vez mais eficaz. Pois as empresas atualmente estão tendo outra visão de negocio e investimento ao longo prazo, pois ao longo dos anos os custos da matéria prima esta cada vez ficando mais cara e leis ambientais entravam a extração compulsiva, e hoje as empresas não tratam o resíduo como problema ou passivo ambiental, mas sim como uma nova fonte de energia e uma oportunidade para ser aplicado em seu negocio de tal forma que utiliza o resíduo florestal como combustível e evitando o descarte indevido porem e uma questão é questionável, pois os resíduos florestais são utilizados também como adubo fertilizante e acabam reduzindo os seus custos com a compra de fertilizante, apesar de Minas Gerais possuir a maior floresta florestal do Brasil de acordo com a Tabela 5 a utilização da mesma no que tange fins energéticos de resíduo florestal ainda e muito baixo, devido minas gerais possuir a maior produção de carvão vegetal da silvicultura segundo Atlas Brasileiro de Biomassa Florestal de 2013 Minas gerais produziu cerca de 4,7 milhões de toneladas de um total de 5,6 milhões de toneladas obtida no Brasil com isso Minas Gerais produziu cerca de 80% da produção nacional.

Percebemos que se utilizarmos a floresta plantada no que tange a produção de Energia seria interessante trabalhar com o carvão vegetal, pois em Minas Gerais a potência gerada por essa fonte gira em torno de 134 MW percebeu também, no que tange a produção da matéria prima o carvão vegetal oriundo de florestas plantado Minas Gerais tem uma participação que gira em Torno dos 80 % da produção nacional segundo a Atlas de Biomassa.

Diante dos dados abordados no projeto acima referido, podemos dizer que os próximos passos seriam o estudo da viabilidade econômica deste “RESÍDUO” no que tange a utilização dele como combustível lembrado que este estudo possibilita encontrar o ponto ótimo de implantação de uma termelétrica, ou de uma indústria que pensa na utilização do resíduo como combustível, lembrando que para o estudo desta viabilidade econômica alguns fatores influenciam diretamente como a proximidade dos resíduos a fonte de produção, custo de transporte e manuseio, os teores de umidade, é o sistema de processamento e preparação para tecnologias mais eficientes.

2015

Capítulo 3: Potencial Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais[3]

Resumo: **Esse relatório técnico consiste em um estudo do potencial energético dos resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais e comparações entre os possíveis fins a serem dados para o lixo produzido no estado. Para tal estudo foram determinadas etapas de desenvolvimento que foram executadas conforme o previsto inicialmente. A tecnologia utilizada para geração de energia elétrica em questão é a incineração direta.**

3.1 Introdução

O lixo no mundo vem se tornado cada vez mais um problema que atinge todas as sociedades, seja pelos seus problemas sociais, ambientais ou até econômicos. Torna-se a cada dia mais inevitável a geração de lixo, pois isso está diretamente ligado ao crescimento populacional e ao consequente desenvolvimento da sociedade. Por isso, é imprescindível que se encontrem soluções inteligentes para minimizar esse problema e dar um correto destino a todo esse lixo que é gerado dia após dia. Uma dessas soluções pode ser a geração de energia elétrica a partir desses resíduos sólidos urbanos.

O estado de Minas Gerais é considerado um estado de grandes dimensões territoriais. Isso significa que existe uma gama de possibilidades no que se refere ao setor energético.

Atualmente não só em Minas Gerais, mas como em todo país, há uma grande dependência da energia elétrica gerada a partir de fontes hídricas. Isso acarreta uma grande dependência das chuvas e condições climáticas. Devido a esse fato, considera-se muito baixa a diversidade da matriz energética brasileira e isso deixa o país extremamente vulnerável a possíveis crises energéticas. Portanto, se faz cada vez mais necessária a diversificação da matriz energética no Brasil a fim de evitar problemas e crises futuras.

Com o constante crescimento populacional e o desenvolvimento progressivo da população em todo mundo, torna-se inevitável a geração de lixo por parte de todos habitantes, seja no âmbito comercial, residencial ou industrial. Como dito primeiramente, o estado de Minas Gerais tem grandes dimensões territoriais e por consequência um grande número populacional. Com isso, a geração de resíduos é considerável e isso pode se tornar uma solução viável no que diz respeito à geração de eletricidade. Através do correto gerenciamento e uso desses resíduos sólidos urbanos, pode haver a transformação daquilo que inicialmente é considerado um problema ambiental em uma ótima oportunidade parcialmente sustentável ocasionando benefícios sociais, econômicos e ambientais.

No dia 2 de agosto de 2010, após um amplo debate com o governo, universidades, setor produtivo e entidades civis, foi promulgada a lei federal nº 12.305/10 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos lançando uma visão moderna na luta contra um dos maiores problemas do planeta: o lixo urbano. Tendo como princípio a responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e população, a nova legislação foi criada para impulsionar o retorno dos produtos às indústrias após o consumo e obrigar o poder público a realizar planos para o gerenciamento do lixo. Entre as novidades, a lei consagrou o viés social da reciclagem, com participação formal dos catadores organizados em cooperativas (CEMPRE, 2010).

O lixo é uma questão preocupante e problemática atualmente para o estado de Minas Gerais e o objetivo desse relatório técnico é levantar o potencial energético dos resíduos sólidos urbanos para geração de energia bem como realizar uma breve comparação entre os fins possíveis existentes para esse lixo.

Nesse estudo será considerado o lixo a ser utilizado no processo de incineração para geração de energia, portanto existe uma fração dos resíduos que não podem ser aproveitados. O levantamento é feito para encontrar a quantidade de resíduos sólidos urbanos e após ter esse dado em mãos é feito o estudo da composição desses resíduos

[3] Trabalho realizado pelo estagiário Breno Machado, em 2015.

de forma a entender qual fração pode ser de fato aproveitada para a geração de energia e qual seria esse valor final. O Brasil é um grande país. Localizado no hemisfério sul, na América Latina, possui uma extensão territorial quase continental de 8.510.000 km^2 (IBGE, 2014).

3.2 Metodologia

Para elaboração desse relatório técnico foi adotada uma metodologia e o desenvolvimento baseado em etapas. Essas etapas se completam para alcançar o objetivo final do estudo proposto. Aqui são apresentadas as principais etapas definidas para o desenvolvimento do relatório.

- Levantamento de dados populacionais de todos os municípios de Minas Gerais;
- Adoção de método de projeção populacional e aplicação deste na projeção de 30 anos;
- Relação entre população e a produção de resíduos sólidos urbanos;
- Aplicação da projeção de 30 anos para a geração de resíduos sólidos urbanos;
- Cálculo da geração final de resíduos sólidos urbanos nos anos de 2014 e 2044 em Minas Gerais;
- Estudo da composição dos resíduos sólidos urbanos;
- Relação entre os resíduos sólidos urbanos e energia elétrica;
- Cálculo da energia elétrica gerada a partir dos resíduos;
- Levantamento do potencial financeiro do lixo reciclável em Minas Gerais;
- Mercado envolvido na reciclagem;
- Comparação entre reciclagem e venda de energia.

Conforme realização dessas etapas de desenvolvimento será possível alcançar o objetivo desejado.

3.3 Sobre os resíduos sólidos urbanos

3.3.1 O que é

São resíduos nos estados sólido e semi sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviável em face à melhor tecnologia disponível (ABNT NBR 10004, 2004).

Os resíduos sólidos urbanos podem geralmente ser classificados de acordo com sua origem, tipo de resíduo, composição química e periculosidade (ABNT NBR 10004, 2004).

De acordo a origem são eles:

- Resíduo Hospitalar (qualquer resto proveniente de hospitais e serviços de saúde);
- Resíduo Domiciliar (composição bastante variável influenciada por fatores como localização e renda familiar);
- Resíduo Agrícola (podem ser compostos por embalagens de defensivos agrícolas, restos orgânicos, produtos veterinários entre outros);
- Resíduo Comercial (geralmente composto por materiais recicláveis como papel, papelão, embalagens de plástico, podendo conter também restos sanitários e orgânicos);

- Resíduo Industrial (originados de processos industriais com composição bastante diversificada sendo que muitos podem ser considerados perigosos);
- Entulho (resultante da construção civil e de reformas como tijolos, madeira, metais, cimento entre outros);
- Resíduo Público (aquele recolhido nas vias públicas, galerias e locais públicos como folhas de árvores, grama, galhos, animais mortos e restos de alimentos);
- Resíduos de portos, aeroportos e terminais rodoviários (o lixo coletado nesses locais é tratado como resíduo séptico, pois pode conter agentes causadores de doenças trazidas de outros países);
- Resíduos de Mineração (solo removido, metais pesados, restos e lascas de pedras etc.).

(ABNT NBR 10004, 2004)

De acordo com o tipo são eles:

- Resíduo reciclável (papel, plástico, metal, alumínio e vidro);
- Resíduo não reciclável (os não recicláveis e os recicláveis contaminados).

(ABNT NBR 10004, 2004)

De acordo com a composição química são eles:

- Orgânicos (restos de alimentos, folhas, grama, animais mortos, esterco, papel, madeira entre outros);
- Inorgânicos (basicamente vidro, plástico e borracha).

(ABNT NBR 10004, 2004)

De acordo com a periculosidade são eles:

- Resíduos Perigosos (são aqueles que por suas características podem apresentar riscos para a sociedade ou para o meio ambiente. São considerados perigosos também os que apresentem uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade);
- Resíduos não perigosos (Não apresentam nenhuma das características dos resíduos perigosos).

(ABNT NBR 10004, 2004)

3.3.2 Porque usar esse potencial (benefícios)

O uso dos resíduos sólidos urbanos para a geração de energia elétrica pode ser uma solução para amenizar o mal causado pelo lixo ao redor do mundo como, por exemplo, o cheiro desagradável, a contaminação do solo, dos aquíferos e lençol freático, assoreamento de mananciais, enchentes, contaminação de pessoas entre outros problemas. Esse volume de lixo vem crescendo constantemente em proporção ao desenvolvimento da sociedade e o correto uso desses resíduos pode frear esse acumulo de lixo nos aterros sanitários dando assim uma utilidade para eles. A incineração do lixo apresenta a vantagem de reduzir o volume de resíduos e também destruir os microrganismos contidos principalmente no lixo hospitalar e industrial, que causam doenças. Com a incineração é possível uma redução de até 90% do volume inicial a partir da combustão a temperaturas de mais de 900°C. (WASTE & RESOURCES ACTION PROGRAMME, 2013).

Outro fato que deve ser atentado é o de que a matriz energética do Brasil é muito pouco diversificada e muito dependente de uma só fonte de energia convencional. Esse fato pode estimular também o uso dos resíduos sólidos urbanos para esse fim e o consequente desenvolvimento e aplicação desse tipo de tecnologia.

Do processo de incineração temos como produto final a energia térmica que pode ser transformada em energia elétrica.

3.3.3 Quais os problemas

Aspectos econômicos, sociais e ambientais podem ser considerados como pontos negativos ao analisar a incineração de resíduos sólidos urbanos para a geração de energia elétrica.

Os problemas que envolvem esse processo começam na emissão de gases poluentes, tóxicos e perigosos à saúde pública.

Em países que tem uma composição gravimétrica do lixo com grande parcela de resíduos orgânicos, conhecidos também como lixo molhado, torna-se inviável economicamente a incineração uma deve ser muito grande o que representa um maior custo de manutenção das usinas e consequentemente a alta nas tarifas de energia.

Para a produção de energia elétrica especificamente, há um aproveitamento muito baixo em relação à totalidade dos resíduos. A recuperação média do calor liberado pela incineração de resíduos fica entre 7% e 15% do total. Isso quer dizer que se perde no processo entre 85% e 93% do calor produzido (MNCR, 2014).

3.3.4 Para onde aponta o futuro

A produção e geração dos resíduos sólidos urbanos continua crescendo de forma constante, mas a tecnologia e os processos de incineração estão fadadas a se tornarem obsoletas e serem descartadas no cenário mundial.

Existem alternativas à incineração que estão cada vez mais ganhando força. A resistência popular às incineradoras é global, centenas de organizações de interesse público, estão empreendidas na luta contra a incineração e a favor das alternativas. Nos recentes anos, a pressão pública resultou no encerramento de mais de 500 incineradoras (NIEL TANGRI, 2003) e existem ao redor do mundo leis internacionais e convenções que lutam para o fim da incineração.

3.4 Desenvolvimento

Nesse item serão apresentadas as etapas do desenvolvimento do estudo conforme citado na metodologia. As pesquisas foram baseadas em artigos, relatórios técnicos, reportagens e outras fontes de informação devidamente referenciadas ao final no relatório.

3.4.1 Levantamento de dados de população

Para iniciar o estudo do potencial energético dos Resíduos Sólidos Urbanos no estado de Minas Gerais, primeiramente foi feito um levantamento da população de todos os 853 municípios do estado no ano de 2014 (IBGE CIDADES, 2014) de acordo com dados do IBGE cidades. Esse levantamento é de suma importância tanto pelo fato de que a produção de RSU está diretamente relacionada com o número de habitantes do local e também para o cálculo da projeção do crescimento dessa população para anos seguintes e consequentemente o aumento da geração de resíduos.

Os dados foram dispostos em planilhas no Excel e estão parcialmente representados na tabela a seguir.

Tabela 3.1 - População de Minas Gerais

MUNICÍPIOS - MINAS GERAIS	POPULAÇÃO EM 2014
Abaeté	23.494
Alfenas	78.176
Araguari	115.632
Barbacena	133.972
Belo Horizonte	2.491.109
Contagem	643.476
Curvelo	78.373
Divinópolis	228.643
Itaúna	90.783
João Monlevade	78.040
Juiz de Fora	550.710
Ouro Preto	73.700
Poços de Caldas	162.379
Uberaba	318.813
Uberlândia	654.681
TOTAL DOS MUNICÍPIOS APRESENTADOS	**5.721.981**
TOTAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS	**20.688.348**

A tabela a cima representa a população de alguns dos 853 municípios do estado de Minas e por final sua população total no ano de 2014.

3.4.2 Projeção de população para 30 anos

Como o objetivo do estudo é ter uma estimativa de produção de energia a partir de resíduos sólidos urbanos em um cenário de 30 anos, é necessário que seja feita a projeção da população encontrada para esse período em questão.

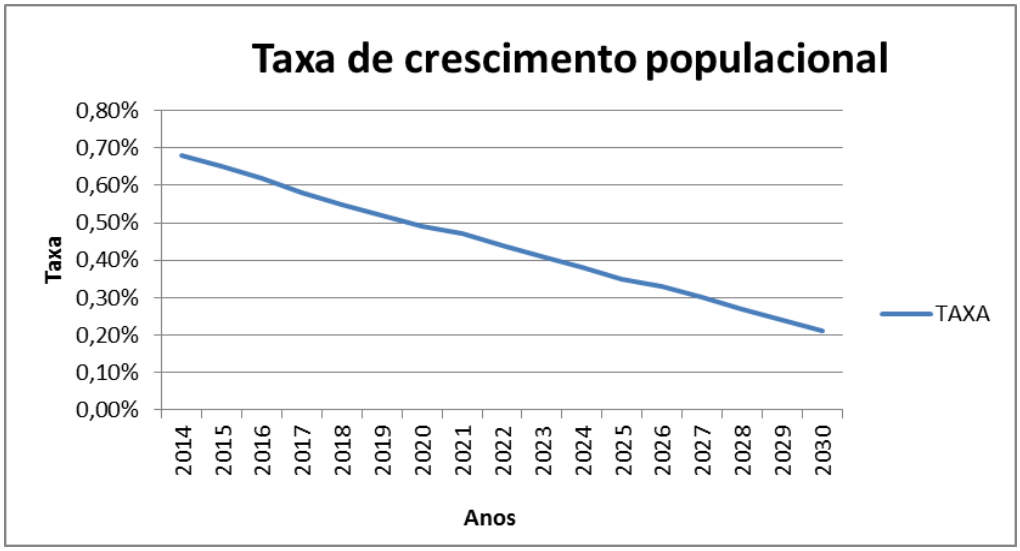
Sabemos que a produção de lixo de determinado local, está diretamente ligada a sua população, então foi adotado um método de projeção para chegar ao valor da população do estado de Minas Gerais no ano de 2044 conforme será explicado a seguir:

Para o cálculo da projeção de crescimento populacional, foi necessário encontrar dados relativos às taxas de crescimento populacional no estado.

De acordo também com dados fornecidos pelo IBGE, foram encontradas taxas de crescimento populacional, chamada de taxa média geométrica de crescimento anual da população residente para os anos de 2014 até 2030 (IBGE CIDADES, 2014). Como não há dados de projeção dessa taxa de crescimento após o ano de 2030, foram utilizados os dados dos anos de 2014 até 2030 encontrando-se assim uma média da taxa de crescimento anual entre esses anos.

A figura abaixo representa a taxa de crescimento populacional em Minas Gerais entre os anos de 2014 e 2030.

Figura 3.1 - Taxa de crescimento populacional em Minas Gerais



É interessante notar que essa taxa vem decaindo com o passar do tempo tendendo a zero e consequentemente a ser negativa. Com isso a população não só do estado, mas de todo o país, tende a cair no futuro. É o que afirmam também institutos especializados.

Existe uma projeção feita pelo instituto brasileiro de geografia e estatística – IBGE que aborda o crescimento estimado da população até o ano de 2030. Como no caso em estudo o objetivo é encontrar essa projeção até o ano de 2044 (cenário de 30 anos que corresponde à vida útil do equipamento de incineração) foi adotado um método de projeção apresentado a seguir. Foi feita também uma comparação entre o método utilizado pelo IBGE e o método da Universidade de Oregon. Constatou-se que os valores de projeção encontrados são muito próximos.

Ao calcular essa projeção, utilizamos o método composto dos seguintes passos:

- Dividimos a média da taxa de crescimento populacional encontrada em percentual por 100 para convertê-la em decimal;
- Adicionamos 1 à taxa de crescimento expressa em decimal;
- Elevamos o resultado ao número de anos que queremos obter a projeção final. Como queremos saber a projeção da população do ano de 2044 e os dados de população que temos são do ano de 2014, elevamos esse numero a 30;
- Multiplicamos esse valor pela população original para encontramos a projeção da população no ano de 2044.

(UNIVERSITY OF OREGON, 2002)

Em planilha do Excel foi elaborada uma fórmula de modo que esse cálculo seja aplicado em todos os valores de população encontrados para cada município e foi feita essa projeção não só para o ano de 2044, mas também

para intervalos menores de tempo com o objetivo de ter um melhor acompanhamento e uma melhor representação gráfica desse crescimento populacional.

A tabela abaixo representa de forma simplificada os dados da projeção da população calculados no Excel.

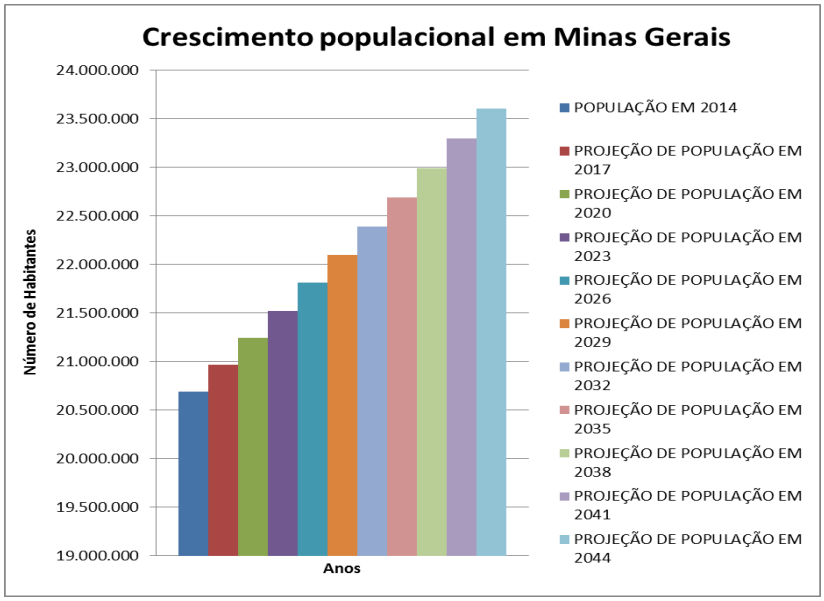
Tabela 3.2 – Projeção da População de 2044

MUNICÍPIOS - MINAS GERAIS	PROJEÇÃO DE POPULAÇÃO EM 2044
Abaeté	26.806
Alfenas	89.197
Araguari	131.934
Barbacena	152.859
Belo Horizonte	2.842.302
Contagem	734.192
Curvelo	89.422
Divinópolis	260.877
Itaúna	103.581
João Monlevade	89.042
Juiz de Fora	628.348
Ouro Preto	84.090
Poços de Caldas	185.271
Uberaba	363.759
Uberlândia	746.977
TOTAL DOS MUNICÍPIOS APRESENTADOS	**6.528.657**
TOTAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS	**23.604.958**

A tabela a cima representa a projeção da população de alguns dos 853 municípios do estado de Minas e por final sua projeção de população total no ano de 2044.

A imagem demostra como será o crescimento da população de Minas Gerais entre os anos de 2014 e 2044

Figura 3.2 - Crescimento Populacional em Minas Gerais



O gráfico nos mostra o crescimento populacional baseado em projeções de população com intervalos de 3 anos até o ano final de 2044.

3.4.3 Relação entre população e projeção de RSU

Com dados de população e projeção populacional em mãos, foi feito um estudo para chegar ao total de RSU gerados no estado no presente momento e no ano de 2044.

Para chegar nesse número final, teve de ser encontrada uma relação entre a quantidade de RSU gerada e um habitante do estado de Minas Gerais.

No estado essa relação é de 0,831kg/hab./dia no ano de 2014 (ABRELPE, 2014).

Após ter essa relação RSU x Habitante em mãos, pode-se finalmente determinar a geração total de resíduos sólidos em cada município e no estado no ano atual e no ano de 2044.

Para esse cálculo foram adotadas as seguintes equações:

[POPULAÇÃO x (RELAÇÃO RSUxHAB.) x 365] / 1000

[PROJEÇÃO x (RELAÇÃO RSUxHAB.) x 365] / 1000

O resultado é obtido em toneladas por ano e representado na tabela a baixo:

Tabela 3.3 - Produção total de RSU em Minas Gerais

POPULAÇÃO EM 2014	PRODUÇÃO TOTAL DE RSU EM 2014 (ton/ano)	PROJEÇÃO DE POPULAÇÃO EM 2044	PRODUÇÃO TOTAL DE RSU EM 2044 (ton/ano)
20.688.348	**6.275.086,27**	**23.604.958**	**7.159.737,94**

3.4.4 Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil têm uma composição gravimétrica diversificada. Essa composição é dividida basicamente em material reciclável, matéria orgânica e outros. Entre o material reciclável encontram-se os metais, aços, alumínios, papeis (papelão e tretapak), plástico total, plástico filme, plástico rígido e vidro.

Devemos atentar que para a incineração desses resíduos, nem todos os materiais podem ser utilizados, pois alguns deles não podem ser incinerados e aproveitados.

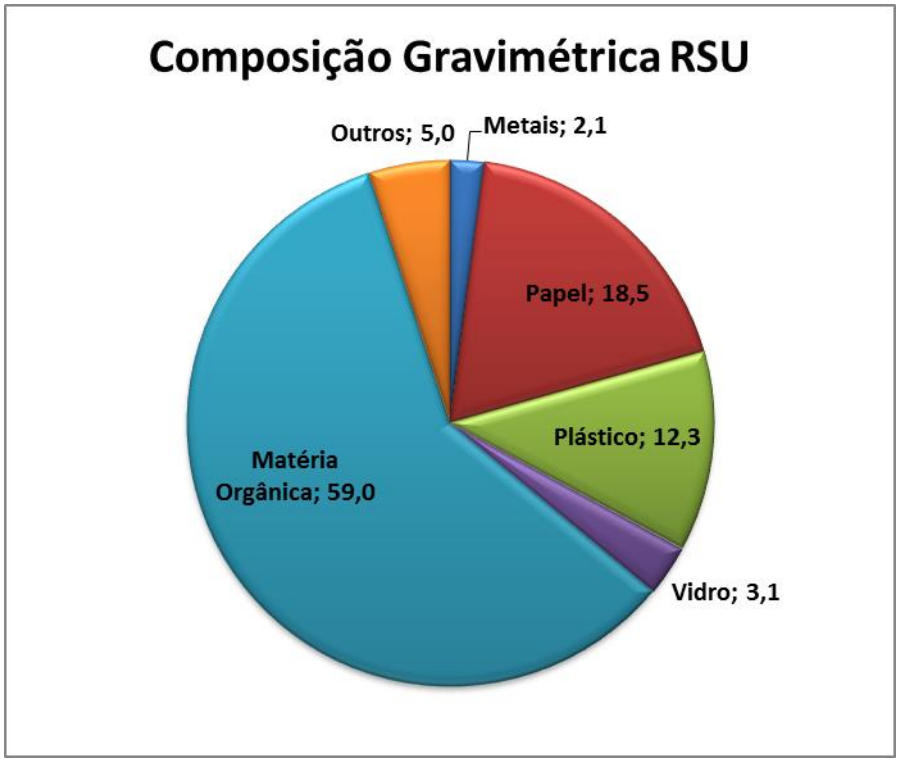
A tabela abaixo representa a estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em um ano.

Tabela 3.4 - Composição Gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos

Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos		
Resíduos	**Participação (%)**	**Quantidade (t/ano)**
Material Reciclável	36	2.259.031,06
Metais	2,1	131.776,81
Papel	18,5	1.160.890,96
Plástico	12,3	771.835,61
Vidro	3,1	194.527,67
Matéria Orgânica	59	3.702.300,90
Outros	5	313.754,31
Total	**100,0**	**6.275.086,27**

O gráfico abaixo representa a composição gravimétrica dos RSU.

Figura 3.3 - Composição Gravimétrica – RSU



3.4.4.1 Total do lixo não reciclável

Há uma consideração a se fazer no que se refere à parcela de lixo a ser utilizada na incineração. Comumente é utilizado apenas o lixo não reciclável para esse processo uma vez que o lixo reciclável é destinado a outros fins. Dessa forma, apenas a parcela de lixo que de fato iria para o aterro sanitário, tem utilidade para o processo de obtenção de energia elétrica a partir da incineração. A maior parte desse lixo não reciclável é composta por material orgânico que representa 92% desse total como mostra o gráfico abaixo.

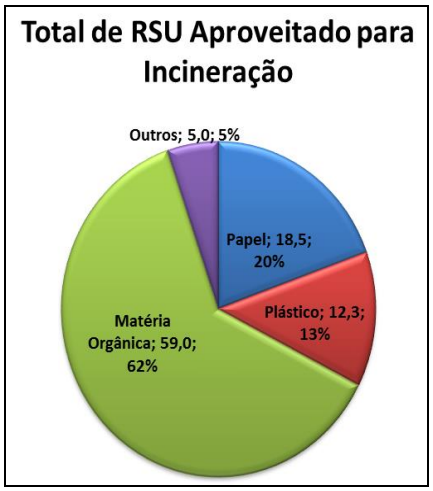
Figura 3.4 – Total do lixo não reciclável

3.4.4.2 Total aproveitado para incineração

Para a incineração, os resíduos que não podem de maneira nenhuma ser aproveitados são os metais, aços, alumínios e vidros. Portanto, essa porcentagem não é considerada para os cálculos de geração de energia a partir dos RSU.

Conclui-se que 94,8 % da composição total do lixo coletado no país pode ser utilizado para a incineração conforme apresentado no gráfico a seguir.

Figura 3.5 – Total de RSU aproveitado para incineração



Podemos observar que no gráfico em questão não são considerados os metais, e vidros que não são de maneira alguma proveitosos na incineração do lixo.

Essa será, portanto a porcentagem final que devemos considerar nos cálculos realizados para encontrar uma relação entre os resíduos sólidos urbanos e a energia elétrica gerada, pois essa é a composição máxima de lixo que pode ser aproveitada no processo de incineração.

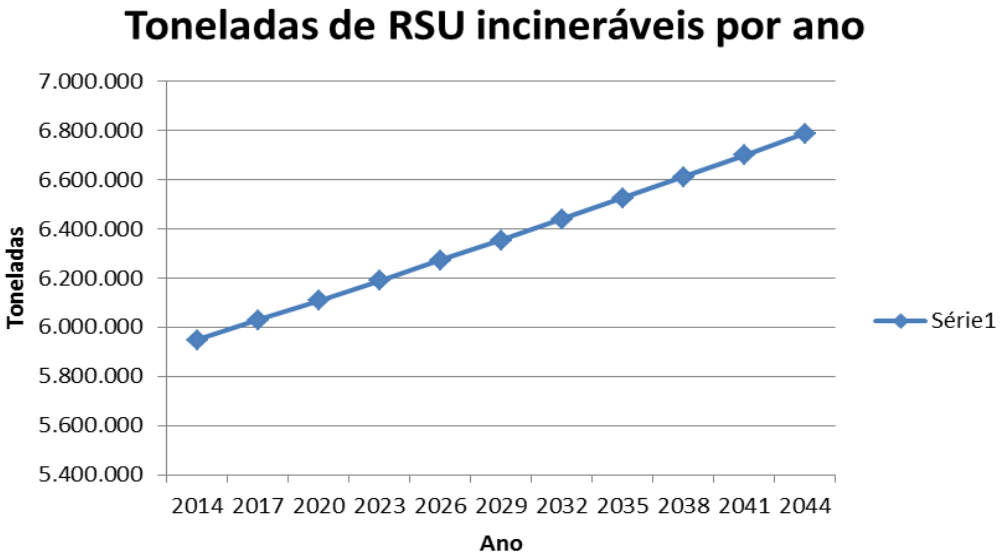
Para todos os estudos de geração de energia a diante, será considerado essa parcela de lixo com potencial para incineração.

Com os dados da quantidade de lixo produzido no estado no ano de 2014 e as projeções de produção até o ano de 2044 e baseados no percentual de 94,8% de lixo que potencialmente pode ser destinado à incineração, temos enfim a quantidade de lixo para esse fim nos respectivos anos:

Tabela 3.4 – Toneladas de RSU incinerável por ano

Ano	Ton de RSU
2014	**5.948.782**
2017	**6.027.758**
2020	**6.107.782**
2023	**6.188.869**
2026	**6.271.032**
2029	**6.354.286**
2032	**6.438.645**
2035	**6.524.124**
2038	**6.610.739**
2041	**6.698.502**
2044	**6.787.432**

Figura 3.6 – Gráfico que representa quantidade, em toneladas, de RSU incineráveis por ano



É importante observar que essa quantidade de lixo produzida não crescerá exponencialmente para sempre. Com a queda ano após ano da taxa de crescimento do estado e no país, como já foi dito anteriormente, a população tende a se estabilizar no futuro e consequentemente decair. Isso quer dizer que a produção de lixo por acompanhar e ter uma relação direta com o número de habitantes de cada local irá atingir um pico onde a população será a máxima e posteriormente decrescer acompanhando a queda da população.

No caso em questão, o objetivo é traçar um cenário até o ano de 2044 onde a população ainda estará em crescimento constante.

3.4.5 Incineração direta dos resíduos sólidos urbanos

A incineração do lixo é a técnica mais comumente utilizada para o tratamento dos resíduos nos dias atuais. Nesse processo não é necessária, por exemplo, a implantação de aterros sanitários. O lixo passa por uma triagem para separação dos materiais potencialmente recicláveis e aqueles que não podem ser submetidos à incineração. Somente são submetidos ao tratamento térmico a matéria orgânica e os resíduos combustíveis não recicláveis, ou seja, exatamente o material que seria destinado ao aterro (CAMPELLO, 2012).

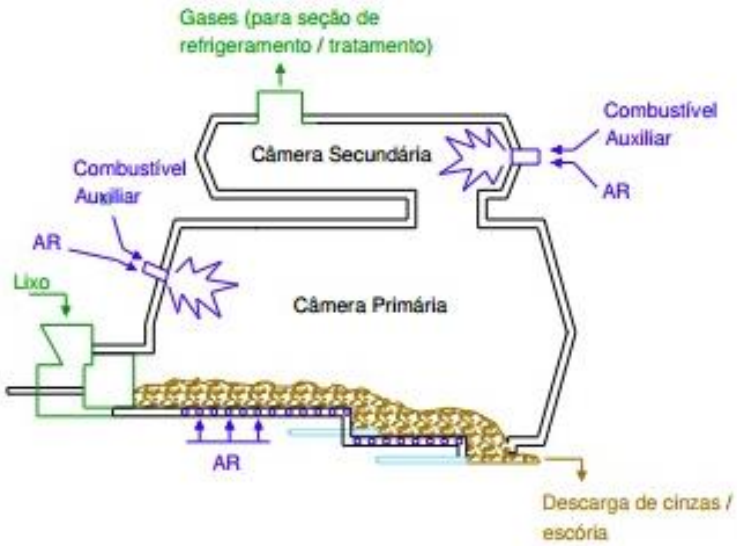
Esses materiais são dilacerados em um moinho, dando origem ao chamado CDR (Combustível Derivado dos Resíduos) (CAMPELLO, 2012).

O atual processo de incineração consiste geralmente em dois estágios. Inicialmente, o CDR é queimado na câmara primária, que é a receptora direta do lixo, em uma temperatura suficientemente alta para que algumas substâncias presentes se tornem gases. As cinzas são recolhidas em arrastadores submersos em corrente de água e lançadas no decantador (CAMPELLO, 2012).

Os gases produzidos na câmera primária são encaminhados para a câmera secundária onde a mistura de gases e partículas é queimada a uma temperatura elevada por um tempo suficiente para que haja a combustão completa. Os gases provenientes dessa segunda etapa do processo passam por um sistema de abatimento de poluição com o objetivo de minimizar o impacto ambiental causado pela incineração. (CAMPELLO, 2012)

A figura abaixo representa o funcionamento de um incinerador.

Figura 3.7 - Incinerador de RSU



3.4.6 Relação entre RSU e Energia Elétrica

O próximo passo do desenvolvimento do relatório consiste na relação entre os resíduos sólidos urbanos gerados no estado de Minas Gerais e a geração de energia elétrica. Ou seja, quanto de energia é possível gerar com o lixo produzido no estado.

Uma relação geral encontrada é a de que cada 200 toneladas por dia da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares permitem a implantação de uma usina termelétrica com a potência de 3 megawatts, capaz de atender uma população de 30 mil habitantes (BUENO, 2008).

Deve ser ressaltado que esses empreendimentos em questão têm como combustível basicamente a matéria orgânica presente no lixo, uma vez que a parte reciclável é aproveitada de outra forma. Entretanto, nesse estudo será feita uma relação para encontrar a quantidade de energia que pode ser gerada considerando todo o lixo com potencial de aproveitamento para a geração de energia.

Isso quer dizer que nesse item iremos considerar não só a matéria orgânica do lixo como é usual nos empreendimentos já em funcionamento, mas sim toda a fração dos resíduos sólidos urbanos que podem ser utilizados para a geração de energia.

Para o estudo em questão, vamos considerar o equipamento apresentado no item anterior, onde a relação com a geração de energia considera a quantidade total de RSU que entra no incinerador e não apenas a parcela de matéria orgânica como nos aterros apresentados acima. Essa forma de cálculo se torna mais consistente com o estudo, uma vez que iremos considerar todo o lixo útil para a incineração.

Para essa tecnologia em questão temos uma geração de 600 kWh ou 0,6 MWh por tonelada processada (COOPAMA, 2012). Deve-se lembrar de que esse valor depende fortemente do poder calorífico do RSU utilizado.

De acordo com a composição gravimétrica dos resíduos, cerca de 59 % desse lixo é composto de matéria orgânica mas o total de lixo potencialmente útil para incineração chega a ordem de 94,8%. Ao considerar a média de geração em sistemas instalados de 0,6 MWh/t, temos para a quantidade de RSU em Minas Gerais a seguinte relação:

3.4.6.1 Total de resíduos sólidos urbanos aproveitados para incineração

Para o estudo em questão, vamos considerar o equipamento apresentado no item anterior, onde a relação com a geração de energia considera a quantidade total de RSU que entra no incinerador e não apenas a parcela de matéria orgânica como nos aterros apresentados acima. Essa forma de cálculo se torna mais consistente com o estudo, uma vez que iremos considerar todo o lixo útil para a incineração.

Para essa tecnologia em questão temos uma geração de 600 kWh ou 0,6 MWh por tonelada processada (COOPAMA, 2012). Deve-se lembrar de que esse valor depende fortemente do poder calorífico do RSU utilizado.

De acordo com a composição gravimétrica dos resíduos, cerca de 59 % desse lixo é composto de matéria orgânica mas o total de lixo potencialmente útil para incineração chega a ordem de 94,8%. Ao considerar a média de geração em sistemas instalados de 0,6 MWh/t, temos para a quantidade de RSU em Minas Gerais a seguinte relação:

Com base nos dados de população e geração de resíduos por habitante levantados para esse relatório técnico podemos determinar a quantidade de lixo aproveitado para incineração conforme dados apresentados a seguir:

Ano de 2014: 5.948.781,79 (ton/ano)

16.298,03 (ton/dia)

Ano de 2044: 6.787.431,57 (ton/ano)

18.595,70 (ton/dia)

3.4.6.2 Geração de Energia Elétrica por Incineração

Com base na relação de geração de energia elétrica encontrada para o incinerador representado acima, podemos enfim determinar a quantidade de energia elétrica que pode ser gerada ao utilizar-se toda a parcela de resíduos sólidos urbanos como potencial de aproveitamento para incineração. Portanto ao considerar uma geração de 0,6 MWh de energia elétrica por tonelada de RSU utilizada como combustível, termos como resultado os valores apresentados na tabela abaixo.

Tabela 3.5 - Total de Energia Elétrica Gerada - Incineração

TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA GERADA - Incineração (MWh)		
-	2014	2044
dia	8.472,62	9.667,08
ano	3.092.507,50	3.528.484,28

Temos, contudo que com a quantidade total de lixo produzido em Minas Gerais que pode ser aproveitado na incineração, podemos gerar no ano de 2014:

- 8.472,62 MWh por dia

- 3.092.507,50 MWh por ano

Já para o ano de 2044 a projeção de geração de energia elétrica a partir desses resíduos é:

- 9.667,08 MWh por dia

- 3.528.484,28 MWh por ano

Além dos dados da energia gerada a partir da incineração da quantidade total de lixo produzido em Minas Gerais, é interessante levantarmos o valor da potência que a instalação teria para gerar essa energia conforme combustível disponível.

Para isso são avaliados não só a energia gerada, mas outros fatores como a disponibilidade, o fator de carga e a quantidade de horas que a instalação se mantém em funcionamento por ano.

Utilizamos a seguinte fórmula:

Energia (MWh)= Potência (MW) x Disponibilidade x Fator de carga x h/ano

Onde:

- Energia (MWh) = 3.092.507,50 (energia em MWh gerada no ano de 2014)

ou 3.528.484,28 (projeção da energia em MWh gerada no ano de 2044)

- Disponibilidade = 0,92 (a instalação se mantém em funcionamento 92% do tempo, parando 8% para manutenção)

- Fator de carga (Fc) = 0,60 (a instalação opera em sua potência máxima 60% do tempo)

- h/ano = 8760 horas (a instalação se mantém em funcionamento 8760 horas por ano)

O resultado encontrado é de uma instalação de:

- 639,5 MW (ano de 2014)

- 729,7 MW (projeção para o ano de 2044)

3.4.6.3 Geração de Energia Elétrica por Gaseificação.

O processo de gaseificação é outra forma de aproveitamento do potencial energético do lixo.

Para esse tipo de aproveitamento são utilizadas usinas do tipo GWE. Algumas novas usinas nacionais, como as da GWE Brasil, geram pelo menos 1,0 MWh por tonelada de RSU gaseificado (AGROLINK, 2015).

Considerando o mesmo lixo utilizado na tecnologia anterior, temos para a gaseificação a seguinte quantidade de energia gerada:

Tabela 3.6 - Total de Energia Elétrica Gerada)MWh) - Gaseificação

-	2014	2044
dia	**14.121,04**	**16.111,80**
ano	**5.154.179,17**	**5.880.807,13**

Temos, contudo que com a quantidade total de lixo produzido em Minas Gerais que pode ser aproveitado na gaseificação, podemos gerar no ano de 2014:

- 14,121,04 MWh por dia

- 5.154.179,17 MWh por ano

Já para o ano de 2044 a projeção de geração de energia elétrica a partir desses resíduos é:

- 16.111,80 MWh por dia

- 5.880.807,13 MWh por ano

O resultado encontrado é de uma instalação de:

- 1.065,89 MW (ano de 2014)

- 1.216,16 MW (projeção para o ano de 2044)

3.4.6.4 Geração de Energia Elétrica por Plasma Térmico

Outra forma ainda mais eficiente para o aproveitamento do potencial energético dos resíduos sólidos urbanos é através do plasma térmico onde primeiramente é formado o plasma a partir do biogás gerado pelo lixo e posteriormente são utilizados reatores para a geração de energia.

Nesse tipo de tecnologia podem ser gerados de 1,0 a 1,3 MWh por tonelada de resíduos (REICHERT, 2011).

Considerando o mesmo lixo utilizado na tecnologia anterior, temos para a gaseificação a seguinte quantidade de energia gerada:

Tabela 3.7 - Total de Energia Elétrica Gerada - Plasma Térmico

TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA GERADA-Plasma Térmico (MWh)		
-	2014	2044
dia	18.357,35	20.945,34
ano	6.700.432,92	7.645.049,27

Temos, contudo que com a quantidade total de lixo produzido em Minas Gerais que pode ser aproveitado na gaseificação, podemos gerar no ano de 2014:

- 18.357,35 MWh por dia

- 6.700.432,92 MWh por ano

Já para o ano de 2044 a projeção de geração de energia elétrica a partir desses resíduos é:

- 20.945,34 MWh por dia

- 7.645.049,27 MWh por ano

O resultado encontrado é de uma instalação de:

- 1.385,66 MW (ano de 2014)

- 1.581,01 MW (projeção para o ano de 2044)

3.4.6.5 Geração de Energia Elétrica por Digestão Anaeróbia Acelerada

Já a digestão anaeróbia acelerada também conhecida como biogaseificação ou biometanização é uma tecnologia cujo aproveitamento é menor ao ser comparado com as outras formas de aproveitamento energético do lixo produzido no estado. Essa tecnologia é composta de um conjunto de processos em que os microrganismos degradam a matéria orgânica biodegradável na ausência de gás oxigênio.

Com a digestão anaeróbia acelerada podem ser gerados de 0,1 a 0,3 MWh por tonelada de RSU (REICHERT, 2011).

Considerando o mesmo lixo utilizado na tecnologia anterior, temos para a gaseificação a seguinte quantidade de energia gerada:

Tabela 3.8 - Total de Energia Elétrica Gerada – Digestão Anaeróbia Acelerada

TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA GERADA -Digestão Anaeróbia Acelerada (MWh)		
-	2014	2044
dia	**4.236,31**	**4.833,54**
ano	**1.546.253,75**	**1.764.242,14**

Temos, contudo que com a quantidade total de lixo produzido em Minas Gerais que pode ser aproveitado na gaseificação, podemos gerar no ano de 2014:

- 4.236,31 MWh por dia

- 1.546.263,75 MWh por ano

Já para o ano de 2044 a projeção de geração de energia elétrica a partir desses resíduos é:

- 4.833,54 MWh por dia

- 1.764.242,14 MWh por ano

O resultado encontrado é de uma instalação de:

- 319,77 MW (ano de 2014)

- 364,85 MW (projeção para o ano de 2044)

3.5 A Reciclagem

Uma grande questão a ser considerada quando analisamos a utilização dos resíduos sólidos urbanos para a geração de energia elétrica é a reciclagem. Ao destinarmos toda a produção de lixo para o processo de geração de energia elétrica, independente de qual seja a tecnologia utilizada, deixamos de aproveitar esse lixo no processo de reciclagem que vem se mostrando muito proveitoso nos últimos anos em todo o país. Deve ser feita uma análise para chegar à conclusão de qual forma de utilização do lixo é mais benéfica e mais proveitosa para a população que o produz. A pergunta em questão é qual a destinação deve ser de fato dada aos resíduos sólidos urbanos com o objetivo de diminuir os impactos de sua constante e crescente produção**.**

3.5.1 Importância da reciclagem

No processo de reciclagem, que além de preservar o meio ambiente também gera renda, os materiais mais reciclados de acordo com o panorama dos resíduos sólidos no Brasil do ano de 2014 são o alumínio, o papel e o plástico (ABREPE, 2014).

Esta reciclagem ajuda a diminuir significativamente a poluição da água, do ar e do solo. Muitas empresas estão reciclando materiais como uma maneira de diminuir os custos de produção de seus produtos.

Outro importante benefício gerado pela reciclagem é a quantidade de novos empregos que ela tem gerado nos grandes centros urbanos. Muitas pessoas sem emprego formal (com carteira registrada) estão buscando trabalho neste ramo e conseguindo renda para manter suas famílias. Cooperativas de catadores de papel e alumínio, por exemplo, já são comuns nas grandes cidades do Brasil.

Diversos materiais como, por exemplo, o alumínio pode ser reciclado com um índice de reaproveitamento de aproximadamente 100%. Derretido, ele volta para as linhas de produção das indústrias de embalagens, reduzindo os custos para as empresas.

Várias campanhas de educação ambiental têm despertado a atenção para o problema do lixo nos grandes centros urbanos. Cada vez mais, os centros urbanos, com altos índices de crescimento da população, têm encontrado dificuldades em obter locais para instalarem depósitos de lixo (aterros). Logo, a reciclagem mostra-se como uma solução viável do ponto de vista econômico, além de ser ambientalmente correta.

3.5.2 O mercado envolvido

Além da minimização dos impactos ambientais que a reciclagem do lixo pode causar, existe um grande mercado por traz dessa prática. A reciclagem atualmente é responsável por gerar renda para muitas famílias no país. Os materiais coletados em lixões ao longo do país podem ser vendidos por preços diversos de acordo com cada tipo de material, sendo uns mais valiosos e outros menos.

Trabalham hoje cerca de um milhão de catadores de lixo no Brasil de acordo com o Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis. Esses catadores vivem do trabalho de coleta, triagem e comercialização dos recicláveis (MNCR, 2015).

Em 2007 foi criado pelo governo o programa Cataforte – negócios sustentáveis em redes solidárias. Esse programa visa possibilitar a inserção de cooperativas no mercado da reciclagem e a agregação de valor na cadeia de resíduos sólidos. O projeto é voltado à estruturação de redes de cooperativas e associações para que estas redes solidárias se tornem aptas a prestar serviços de coleta seletiva para prefeituras, participar no mercado de logística reversa e realizar conjuntamente a comercialização e o beneficiamento de produtos recicláveis.

3.5.3 Potencial Financeiro do Lixo Reciclável

Com os dados já levantados da quantidade de lixo produzido em Minas Gerais é possível encontrar qual a quantidade monetária que esse lixo pode gerar ao ser utilizado na comercialização de recicláveis. Existe um mercado de compra e venda do lixo reciclável que estipula um determinado valor para o quilo de cada tipo de material que pode ser reaproveitado na reciclagem. Esses valores foram aferidos bem como a participação de cada tipo de material no lixo produzido no estado de acordo com a composição dos resíduos sólidos urbanos.

Para o estudo em questão, serão considerados o alumínio, papel, e o plástico, uma vez que esses são os principais materiais considerados e de fato destinados a esse fim da reciclagem conforme citado nos itens anteriores.

Com a interação desses dados chegamos ao valor final do potencial financeiro do lixo reciclável em Minas Gerais, considerando que toda essa fração do lixo seria destinada a esse fim.

As tabelas a seguir têm como objetivo apresentar os valores médios de cada um desses materiais que serão considerados nesse relatório com destino a reciclagem.

Primeiramente temos o plástico que pode ser dividido em 3 principais tipos, conforme a tabela 3.9 a seguir.

Tabela 3.9 - Preço por quilo de tipo de plástico

PREÇO POR QUILO DE TIPOS DE PLÁSTICO	
Material	**Preço (R$/KG)**
PET	1,50
Copo Plástico	0,45
Saco Plástico	0,45
MÉDIA	**0,8**

Como são 3 os principais tipos de plástico a serem reciclados e não temos a quantidade discriminada de cada tipo de plástico, será utilizada uma média entre esses valores.

Para o alumínio, temos os seguintes valores de preço médio da sucata de alumínio.

Tabela 3.10 – Preço por quilo de tipos de alumínio

PREÇO POR QUILO DE TIPOS DE ALUMÍNIO	
Material	**Preço (R$/KG)**
Bloco	3,6
Chaparia	4,1
Latas Prensadas	3,9
Latas Soltas	3,6
Panela	4,7
Perfil Branco	5,3
Perfil Misto	4,7
MÉDIA	**4,28**

Fonte: (ABAL, 2015)

Como são 7 os principais tipos de sucata de alumínio a serem reciclados e não temos a quantidade discriminada de cada tipo de alumínio, será utilizada uma média entre esses valores.

Para o papel, temos os seguintes valores de preço médio.

Tabela 3.11 - Preço por quilo de tipos de papel

PREÇO POR QUILO DE TIPOS DE PAPEL	
Material	**Preço (R$/KG)**
Jornais, revistas e papeis velhos.	0,08
Folha de ofício e sulfite	0,15
Papelão	0,20
MÉDIA	**0,14**

Como são 3 os principais tipos de papel a serem reciclados e não temos a quantidade discriminada de cada tipo de alumínio, será utilizada uma média entre esses valores.

Com os valores de venda de cada tipo de material reciclável, a composição dos sólidos urbanos e consequentemente a participação de cada um desses materiais no total de lixo produzido no estado no ano de 2014 podemos chegar ao valor do potencial financeiro do lixo reciclável em Minas Gerais, isso quer dizer, quantos reais são possíveis obter ao considerar que todo o lixo com potencial reciclável seria destinado a esse fim.

Tabela 3.12 - Potencial Financeiro do lixo reciclável no estado.

POTENCIAL FINANCEIRO DO LIXO RECICLÁVEL EM MINAS GERAIS			
Material	**Preço (R$/kg)**	**Participação(kg/ano)**	**Total (R$/ano)**
Plástico	0,80	771.835.610,00	617.468.488,00
Alumínio	4,28	131.776.810,00	564.004.746,80
Papel	0,14	1.160.890.960,00	162.524.734,40
TOTAL			**1.343.997.969,20**

Já o gráfico a seguir demonstra o percentual de contribuição de cada tipo de material para o valor final do potencial financeiro dos RSU recicláveis em Minas Gerais.

Figura 3.8 - Participação de cada material no potencial financeiro do lixo reciclável em Minas Gerais

3.5.4 Potencial Financeiro da Reciclagem x Energia gerada

Com o objetivo de comparação, foi feito um estudo do potencial financeiro que o lixo reciclável teria ao ser utilizado para geração de energia elétrica e consequentemente sua venda tanto através de contratos em leilões de energia como no mercado livre (mercado spot). .

- Para a venda direta dos materiais recicláveis:

Nessa situação foi considerado o preço de mercado por quilo de cada tipo determinado de material que pode ser reciclável e chegamos exatamente ao valor do potencial financeiro do lixo reciclável em Minas Gerais de:

R$ 1.343.997.969,20

- Para a venda de energia elétrica gerada no processo de incineração pelos materiais recicláveis em leilão de energia e no mercado livre:

Nessa situação foi considerado o preço da energia proveniente da biomassa consultado no leilão de energia A-5. (28/11/14) de R$ 209,00/MWh e o preço de liquidação das diferenças médio de R$ 364,27/MWh.

Tabela 3.13 – Energia gerada pelos recicláveis – Incineração (leilão de energia / mercado livre)

ENERGIA GERADA PELOS RECICLÁVEIS - INCINERAÇÃO (ton/ano) - Leilão de energia		
Material	**Participação (ton/ano)**	**Geração de Energia (MWh/ano)**
Plástico	771.835,61	463.101,37
Alumínio	131.776,81	79.066,09
Papel	1.160.890,96	696.534,58
TOTAL		**1.238.702,03**
VALOR ARRECADADO (R$/ano)		
258.888.723,85		
ENERGIA GERADA PELOS RECICLÁVEIS - INCINERAÇÃO (ton/ano) - mercado livre (spot)		
VALOR ARRECADADO (R$/ano)		
451.221.987,74		

Esses cálculos foram feitos também para as demais tecnologias de geração de eletricidade a partir do lixo.

Gaseificação:

Tabela 3.14 – Energia gerada pelos recicláveis – Gaseificação (leilão de energia / mercado livre)

ENERGIA GERADA PELOS RECICLÁVEIS - GASEIFICAÇÃO (ton/ano) - Leilão de energia		
Material	**Paticipação (ton/ano)**	**Geração de Energia (MWh/ano)**
Plástico	771.835,61	771.835,61
Alumínio	131.776,81	131.776,81
Papel	1.160.890,96	1.160.890,96
TOTAL		**2.064.503,38**
VALOR ARRECADADO (R$/ano)		
431.481.206,42		
ENERGIA GERADA PELOS RECICLÁVEIS – GASEIFICAÇÃO (ton/ano) - mercado livre (spot)		
VALOR ARRECADADO (R$/ano)		
752.036.646,23		

Plasma Térmico:

Tabela 3.15 – Energia gerada pelos recicláveis – Plasma Térmico (leilão de energia / mercado livre)

ENERGIA GERADA PELOS RECICLÁVEIS – PLASMA TÉRMICO (ton/ano) - Leilão de energia		
Material	**Paticipação (ton/ano)**	**Geração de Energia (MWh/ano)**
Plástico	771.835,61	1.003.386,29
Alumínio	131.776,81	171.309,85
Papel	1.160.890,96	1.509.158,25
TOTAL		**2.683.854,39**
VALOR ARRECADADO (R$/ano)		
560.925.568,35		

ENERGIA GERADA PELOS RECICLÁVEIS – PLASMA TÉRMICO (ton/ano) - mercado livre (spot)
VALOR ARRECADADO (R$/ano)
977.647.640,10

Biometanização:

Tabela 3.16 - Energia gerada pelos recicláveis – Biometanização (leilão de energia / mercado livre)

ENERGIA GERADA PELOS RECICLÁVEIS - BIOMETANIZAÇÃO (ton/ano) - Leilão de energia		
Material	**Paticipação (ton/ano)**	**Geração de Energia (MWh/ano)**
Plástico	771.835,61	231.550,68
Alumínio	131.776,81	39.533,04
Papel	1.160.890,96	348.267,29
TOTAL		**619.351,01**
VALOR ARRECADADO (R$/ano)		
129.444.361,93		

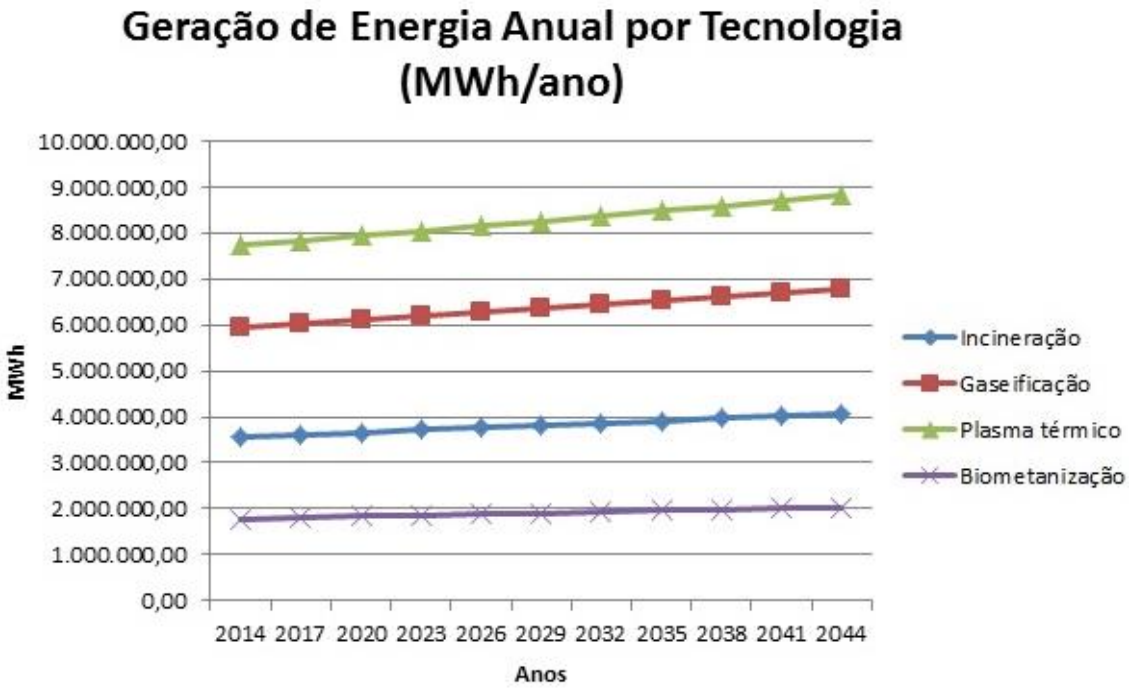
ENERGIA GERADA PELOS RECICLÁVEIS - BIOMETANIZAÇÃO (ton/ano) - mercado livre (spot)
VALOR ARRECADADO (R$/ano)
225.610.993,87

3.6 Resultados

Em uma visão comparativa, foi analisado o quanto de energia elétrica poderia ser gerada no estado com todo o lixo produzido em diversos anos até o ano de 2044, utilizando-se de diferentes tecnologias disponíveis no mercado como a incineração, gaseificação, plasma térmico e digestão anaeróbia acelerada.

O gráfico a baixo representa a geração de energia elétrica por ano através de cada tecnologia até o ano de 2044.

Figura 3.9 – Geração de Energia Anual por Tecnologia (MWh/ano)



É importante salientar que esses valores de geração de energia elétrica tendem a se estabilizar e até mesmo decrescer num futuro distante. Isso se deve ao fato de que a taxa de crescimento no estado e no país, está diminuindo com o passar dos anos. De acordo com estudos de órgãos especializados, a população alcançará um pico, se estabilizará por alguns anos e posteriormente tende a diminuir. Como a produção de lixo e consequentemente a geração de energia elétrica a partir deste está diretamente relacionada ao número de habitantes de determinado local, uma vez que a população se estabilize e após isso diminua, a geração de eletricidade tende a seguir o mesmo caminho.

De acordo com o 28° Balanço Energético do Estado de Minas Gerais de 2013 (ano base 2012) no item 3.2 (Evolução do consumo final por setor), tem-se para o setor residencial um consumo de 794 mil TEP (tonelada equivalente de petróleo). Já no capítulo 6 (Dados Utilizados) temos os dados de eletricidade convertidos na unidade mil MWh.

O consumo final energético é de 58.466 (mil MWh). Isso significa que o consumo final de energia elétrica por todos os setores em Minas Gerais é de 58.466.000 MWh ou 58.466 TWh.

Portanto, podemos comparar o total de energia elétrica gerada através dos resíduos em cada tecnologia abordada com o consumo final energético no estado de Minas Gerais.

Tabela 3.17 – Energia elétrica suprida por cada tecnologia

ENERGIA ELÉTRICA SUPRIDA POR INCINERAÇÃO EM CADA SETOR (2014)		
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO (MWh)	ENERGIA GERADA POR RSU (MWh)	PERCENTUAL SUPRIDO (%)
58.466.000	3.569.269,07	6,10%
ENERGIA ELÉTRICA SUPRIDA POR GASEIFICAÇÃO EM CADA SETOR (2014)		
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO (MWh)	ENERGIA GERADA POR RSU (MWh)	PERCENTUAL SUPRIDO (%)
58.466.000	5.948.781,79	10,17%
ENERGIA ELÉTRICA SUPRIDA POR PLASMA TÉRMICO EM CADA SETOR (2014)		
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO (MWh)	ENERGIA GERADA POR RSU (MWh)	PERCENTUAL SUPRIDO (%)
58.466.000	7.733.416,32	13,23%
ENERGIA ELÉTRICA SUPRIDA POR BIOMETANIZAÇÃO EM CADA SETOR (2014)		
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO (MWh)	ENERGIA GERADA POR RSU (MWh)	PERCENTUAL SUPRIDO (%)
58.466.000	1.784.634,54	3,05%

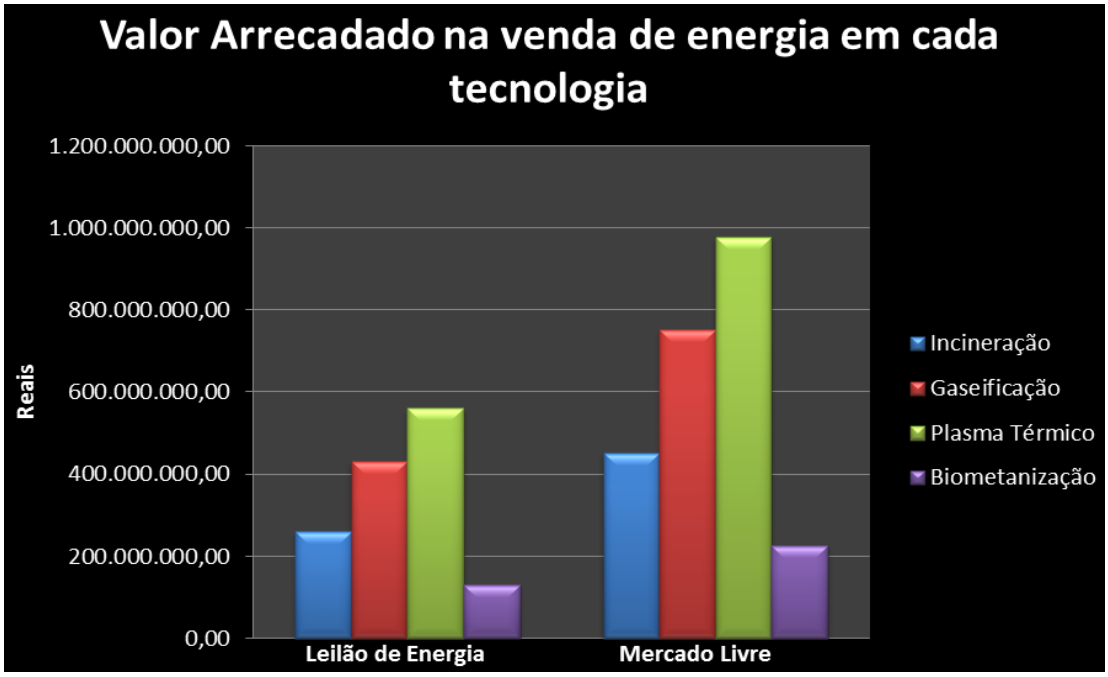
Outro fato que devemos considerar é a comparação entre os possíveis destinos finais para o lixo gerado em Minas Gerais, ou seja, a reciclagem e a venda de energia gerada a partir das tecnologias abordadas.

Com os valores encontrados no item anterior, temos que caso todo o lixo reciclável produzido no estado seja destinado à reciclagem, teríamos um valor arrecadado de:

- Venda de todo o lixo reciclável: R$ 1.343.997.969,20

Já para o objetivo de venda da energia gerada a partir desse mesmo lixo para cada, o gráfico a baixo nos mostra o valor arrecadado para cada tecnologia abordada:

Figura 3.10 - Valor Arrecadado na venda de energia em cada tecnologia



O gráfico a cima representa o valor arrecadado em reais com a venda de energia elétrica gerada por cada uma das tecnologias citadas tanto no leilão de energia como no mercado livre.

Foi elaborado um mapa com o objetivo de demonstrar como o potencial energético dos resíduos sólidos urbanos se distribui em todo o estado.

A distribuição foi feita com base nas mesorregiões de Minas Gerais.

As figuras 3.11 e 3.12 a seguir se referem aos anos de 2014 e 2044 respectivamente.

Figura 3.11 – Distribuição do potencial de geração elétrica por mesorregiões - 2014

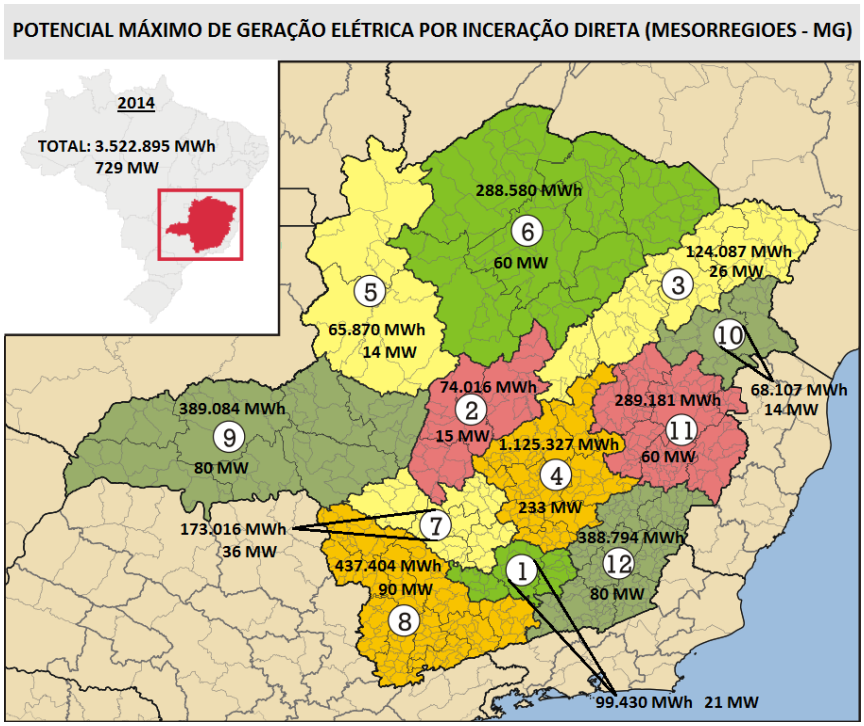
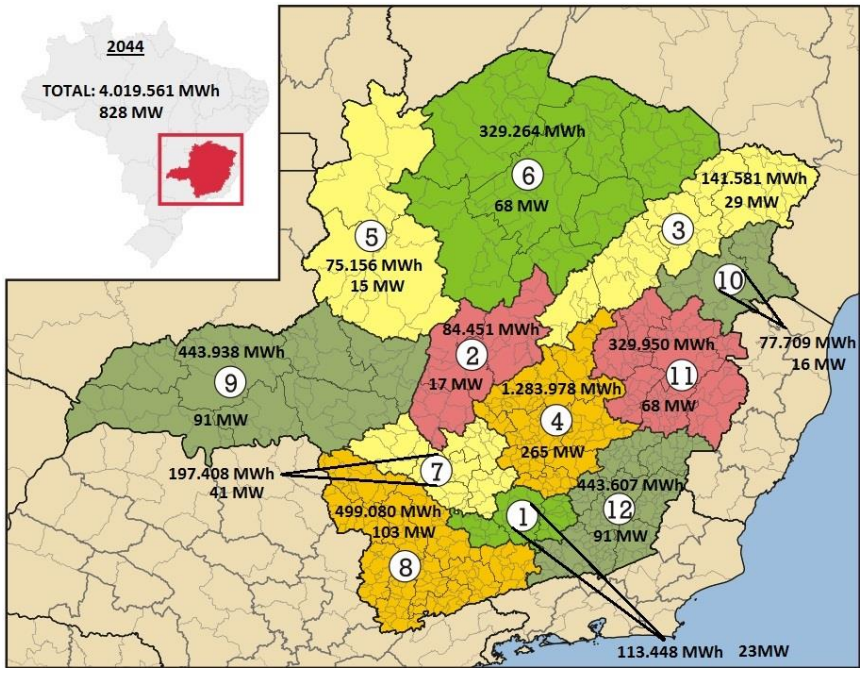


Figura 3.12 – Distribuição do potencial de geração elétrica por mesorregiões - 2044



3.7 Conclusões

Com o desenvolvimento do estudo proposto e a elaboração do relatório técnico, pode-se apresentar aqui as conclusões encontradas em relação ao potencial dos resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais. Depois do levantamento dos dados de população dos municípios, taxa de crescimento para o cálculo da projeção populacional, levantamento da quantidade de lixo gerada por habitante no estado e consequentemente da quantidade total de resíduos gerados no estado, a relação entre os RSU e a energia gerada a partir destes, chegamos a um valor final do potencial energético dos resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais.

É importante ressaltar que esse estudo considera toda a parcela dos resíduos que tem potencial para geração de energia e muitas vezes são utilizadas médias e aproximações para chegar aos valores encontrados por falta de dados específicos do estado de Minas Gerais. O valor final da quantidade de energia gerada foi calculado partindo do pressuposto de que todo o lixo do estado, com potencial para tal, seria destinado à geração de energia.

A conclusão que podemos obter dos dados apresentados no item acima é que o suprimento de energia elétrica gerada a partir das tecnologias abordadas é muito baixo ao se analisar o consumo energético total do estado de Minas Gerais. Já ao analisarmos os setores separadamente, temos um percentual bem mais representativo de suprimento. Com isso podemos concluir que pode ser viável a utilização de resíduos sólidos urbanos para a geração de energia elétrica uma vez que direcionarmos esse uso para algum determinado setor de consumo.

Temos também uma diferença significante entre a reciclagem e a geração de energia. Mesmo onde existe uma maior geração de energia e consequentemente uma maior arrecadação com a venda dessa energia que é o caso da energia elétrica gerada pela tecnologia de plasma térmico, há uma relação de 2,4 para energia vendida do leilão de energia e de 1,4 para energia vendida no mercado livre.

Ou seja, ao destinar todo o lixo reciclável a reciclagem, é possível arrecadar 2,4 vezes mais que ao destinar esse mesmo lixo a geração de energia por plasma térmico vendida em leilão de energia e 1,4 vezes mais se vendida no mercado livre.

Isso se deve ao alto valor de mercado por quilo de alguns materiais que são recicláveis.

Mas o ponto principal que causa esse delta entre os valores encontrados é o fato de que para a reciclagem esses materiais são comprados por quilo enquanto na geração de energia eles são processados por tonelada, ou seja, o número pelo qual se multiplica o preço do quilo de cada material é da ordem de 10^3 vezes maior que o número pelo qual se multiplica a quantidade de MWh gerados por lixo processado, causando assim tal diferença no cálculo.

Capítulo 4: Estudo Sobre Intensidade Energética No Estado De Minas Gerais[4]

Resumo: **Este trabalho buscou analisar a evolução da intensidade energética no estado de Minas Gerais no período de 1995 a 2012 e refletir sobre ele. O estudo apresenta o conceito, a relação do consumo energético com o comportamento da economia no Estado, o Indicador de Intensidade Energética (IIE) e as análises finais. Foram utilizados para o estudo, exemplos do Balanço Energético do Estado da Bahia, de São Paulo, do Rio de Janeiro, artigos e outras referências de Intensidade Energética no mundo. Os indicadores de intensidade energética são muito importantes para o estudo da eficiência energética de Minas Gerais e contribuem na tomada de decisão do governo e empresas para a utilização de uma determinada fonte em função do momento econômico e climático correspondente no Estado. Além disso, a Intensidade Energética indica uma relação direta com a tecnologia utilizada no mercado e os gaps tecnológicos na indústria. Os resultados apresentados desde 1995 até 2012 foram otimistas, com a redução da intensidade energética a cada ano, justificando a melhoria da eficiência energética.**

4.1 Introdução

A energia está presente no dia a dia de diversas maneiras distintas e em suas aplicações. Por exemplo, quando se utiliza máquinas elétricas, o corpo humano para exercícios e acender o fogão com um fósforo.

O Brasil hoje está cada vez mais dependente de novos recursos energéticos, principalmente com o atual cenário marcado pela escassez de chuvas, que são necessárias para o abastecimento dos reservatórios das usinas hidrelétricas e o combustível está se tornando cada vez mais caro. A ideia de eficiência energética ganha um maior espaço no cenário por esta situação, com o intuito de que devemos utilizar a energia com maior inteligência, evitando o uso desnecessário de energia para a produção de serviços e bens.

O conceito de "Intensidade Energética" engloba uma relação fundamental entre Energia e a Economia de um determinado local, medida através de um Indicador de Intensidade Energética (IIE), que é estabelecida entre a razão do consumo total de energia pelo valor de seu PIB a preços de mercado corrente. Em resumo, esse índice mede quanto de energia é necessário para a produção de uma unidade monetária do PIB (IEA, 2014).

Segundo SILVA (2009), "atender a demanda energética de uma nação é fator fundamental no sucesso econômico e consequentemente social de um país". A política energética se identifica principalmente pela maneira mais eficiente de se utilizar energia, promovendo uma segurança no abastecimento da mesma e buscando sempre desenvolver novas tecnologias.

Embora seja conhecida como um indicador grosseiro, a Intensidade Energética apresenta algumas restrições e limitações. Todos os anos ocorrem drásticas mudanças entre o consumo de energia e o PIB, tanto dos países em desenvolvimento, quanto nos países desenvolvidos; contudo, o índice não ultrapassa na maioria das vezes um fator de dois.

O objetivo principal deste estudo é analisar a evolução da Intensidade Energética de Minas Gerais durante o período de 1995 a 2012, relacionando o consumo de energia com o PIB do estado, demonstrado através do Indicador de Intensidade Energética (IIE). Através do IIE, observamos que quanto menor for o resultado, menos energia será necessária para produzir as mesmas quantidades de bens ou serviços produzidos. Ou seja, quanto menor for o IIE, maior será a eficiência energética.

[4] Trabalho realizado pelo estagiário Lucas Rafael Lima Drummond, em 2015.

4.2 Metodologia

A ideia deste trabalho, a princípio, se baseou em um estudo de intensidade energética incluso no Balanço Energético da Bahia, do ano de 2013, em que foi apresentado um breve resumo da intensidade deste estado, principalmente apresentando os resultados do setor industrial. A partir disso, testes foram realizados para a construção da Intensidade Energética de Minas Gerais.

Para a construção dos dados, foram obtidas, informações retiradas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), junto com a Fundação João Pinheiro para o PIB, enquanto os dados do Consumo Energético foram retirados das Tabelas Energéticas do Balanço Energético de Minas Gerais referentes ao período de 1995 a 2012.

As comparações e análises do comportamento dos gráficos dos setores por atividade foram realizadas a partir de pesquisas do histórico de Minas Gerais, comparações com outros Balanços Energéticos de outros estados brasileiros e exemplos de outros países do exterior.

4.3 Revisão Bibliográfica

4.3.1 Levantamento dos dados

O PIB estadual é calculado pelo Sistema de Contas Regionais do Brasil (FJP 2007), através de um trabalho em conjunto realizado por institutos de pesquisa estaduais e o IBGE.

Através do Consumo Final (mil/tep) e o PIB (R$ milhões de reais) de Minas Gerais, obteve-se um resultado geral de intensidade energética para o período avaliado. Entretanto, o interesse maior do estudo é exercer uma divisão de setores a fim de identificar quais são os setores com maior eficiência energética e quais setores estão com maior dificuldade de produzir seus bens e serviços com o menor consumo de energia possível.

Todavia, avaliou-se que estes setores por atividade são diferenciados em questão do IIE geral calculado para o estado, pelo fato de que os dados apresentados para o PIB, segundo o Balanço Energético da Bahia (2013), referem-se ao Valor Adicionado de cada gênero dos setores divididos, em face da impossibilidade técnica de rateio do *dummy* financeiro, impostos ou subsídios para cada setor econômico estadual. Assumiu-se então, para efeito do cálculo do IIE, o Valor Adicionado sendo uma *proxy* do PIB.

Segundo Márcia Martin, M de Luca ([?]) define Valor Adicionado como: "... a remuneração dos esforços desenvolvidos para a criação da riqueza da empresa. Tais "esforços" são, em geral, os empregados que fornecem a mão-de-obra, os investidores que fornecem o capital, os financiadores que emprestam os recursos e o governo que fornece a lei e a ordem, infraestrutura socioeconômica e os serviços de apoio".

Resumidamente, o Valor Adicionado então consiste no cálculo de que cada ramo da atividade adicionou ao valor do produto final (PIB), em cada etapa do processo seletivo, sem a inclusão de impostos. É o valor bruto da produção de bens e serviços reduzido dos custos e despesas operacionais, taxas e impostos (IBGE, [?]).

As atividades foram dividas entre Agropecuária, Transporte, Industrial, Comércio e Público. Contudo, existem divergências em como dividir estes setores de atividades por subsetores de atividades. Durante a pesquisa, foi observado que nas tabelas de Balanço Energético, os subsetores são divididos de uma maneira diferenciada dos Valores Adicionados encontrados no IBGE, dificultando a inclusão de dados na relação para a realização dos cálculos. Por exemplo, os Serviços Industriais de Utilidade Pública e Administração Pública (SIUP), supostamente estariam inclusos somente no setor Industrial; entretanto, no setor Público, segundo o BEN, também está incluso a Administração Pública, o que gera divergência na coleta de dados. A extrativa mineral é outro exemplo em que se diverge no Valor Adicionado, sendo que na tabela de consumo energético está representada por "Mi-

neração e Pelotização", incluindo, além da extrativa, a energia gasta para o processo de transformação do minério para dar início à industrialização.

Com os dados adquiridos do consumo energético através do Balanço Energético de Minas Gerais coincidentes com os dados dos valores adicionados das atividades dos dados do IBGE e Fundação João Pinheiro, o trabalho apresenta os seguintes setores:

- Agropecuária;
- Transportes;
- Indústria com participação da Extrativa Mineral;
- Comércio;
- Público com participação do SIUP e Administração Pública.

As demais atividades na Indústria, como Química, Papel e Celulose, Alimentos e Bebidas, entre outras, o consumo energético é encontrado com precisão no Balanço Energético; entretanto, o valor adicionado se encontra de uma maneira geral, sendo apresentado apenas como Industrial. O mesmo acontece com Transportes e Público.

4.3.2 Intensidade Energética no Brasil e no Mundo

A Intensidade Energética é um assunto muito importante para a eficiência energética. Alguns estados do Brasil e outros diversos países do mundo também se interessam em identificar a relação entre o consumo de energia pelo valor monetário produzido por todos os setores da sociedade.

Em São Paulo, por exemplo, o indicador reduziu apenas 6% do ano de 2005 e 2011, o que pode ser um número significativo levando em consideração o elevado aumento populacional todos os anos na cidade, necessitando a produção de mais bens e serviços sempre com a menor quantidade possível de energia (BESP, 2012).

No estado do Rio de Janeiro, entre 1995 e 2012, a Intensidade Energética reduziu 7,9% considerando-se o consumo do setor residencial e 5,3% sem este setor. Entretanto, no setor de serviços principalmente, houve um acréscimo de 12,5% durante o mesmo período. Este número reflete o processo de modernização de estabelecimentos comerciais, como grandes shoppings centers e hipermercados, garantindo conforto com novos equipamentos de refrigeração, condicionamento de ar e iluminação (BERJ, 2012).

No estado da Bahia, registrou um decréscimo de 57% entre 2002 e 2012 considerando a relação do consumo final energético pelo produto interno bruto do estado. O grande destaque para a Bahia neste período foi o aumento de produção de hidroeletricidade e do Gás Natural, verificando-se uma grande dependência em relação ao Petróleo e seus derivados (BEB, 2013).

A Intensidade Energética tem se reduzido nos últimos 22 anos na maioria dos países mundiais. Os maiores destaques mundiais são China, Rússia e Índia, superando inclusive os Estados Unidos, a União Europeia e o Japão (IEA, 2014). Muitas razões explicam esta redução: Crescimento acelerado do PIB em relação ao consumo de energia, os setores de serviços apresentando um crescimento na economia utilizando menor quantidade de energia, programas de eficiência energética, etc.

Segundo o IEA (2014), existem duas hipóteses opostas em termos de Intensidade Energética. Para países com maiores índices de PIB, como USA, EU e Japão, o indicador se reduz pelo fato de que são utilizadas menos indústrias e mais serviços em locais desenvolvidos, favorecendo a eficiência energética. Por outro lado, países como Índia, China e outras economias emergentes, o crescimento do PIB per capita se direciona para um consumo

elevado de energia nas indústrias principalmente, para a produção de serviços. Colocando os dois indicadores no mesmo gráfico, revela a possibilidade de convergência de todos os países em um mesmo continente, por exemplo. Segundo a EUROSTAT (2013), o continente europeu apresentou em geral, um decréscimo de 16% entre 2002 e 2013.

Na América Latina, pesquisas comprovam que o Brasil utiliza mais energia para produzir do que outros países do continente. Entre 1990 e 2011, a região reduziu 10% da Intensidade Energética, enquanto que o país brasileiro, o indicador subiu 3% durante o mesmo tempo. Na Argentina, por exemplo, houve um significante decréscimo de 20% do indicador (CEPAL, 2013).

4.4 Resultados Obtidos

4.4.1 Introdução

A ideia do capítulo anterior era mostrar de que maneira a coleta de dados foi realizada para a construção do IIE, de maneira geral e de acordo com cada proposta de atividade. Neste capítulo, serão apresentados os dados e resultados obtidos para a situação geral de Minas Gerais, além dos indicadores por cada setor de atividade, seus subsetores e seus comportamentos específicos na economia mineira.

Neste mesmo capítulo, ainda serão incluídos gráficos e análises sobre o comportamento da curva da Intensidade Energética para o período de 1995 a 2012.

4.4.2 Intensidade Energética Geral de MG

O cálculo do IIE geral de MG foi representado através da seguinte relação:

IIE= Ce/Pe

Em que:

IIE – Indicador de Intensidade Energética;

Ce – Consumo Final de energia;

Pe – PIB de Minas Gerais;

A Tabela 4.1 apresenta toda evolução da intensidade energética de MG no período de 1995 a 2012.

Tabela 4.1 – Evolução da Intensidade Energética de Minas Gerais

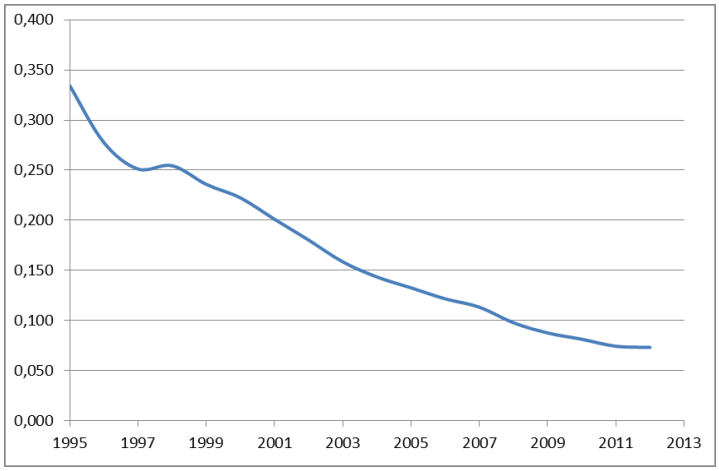
	PIB (em milhões de R$)	Consumo Final (mil tep)	Intensidade Energética
1995	60930	20382	0,335
1996	74152	20594	0,278
1997	82801	20802	0,251
1998	83924	21362	0,255
1999	89790	21184	0,236
2000	100612	22380	0,222
2001	111315	22381	0,201
2002	127782	23037	0,180
2003	148823	23596	0,159
2004	177325	25433	0,143
2005	192639	25548	0,133
2006	214814	26130	0,122
2007	241293	27342	0,113
2008	282522	27607	0,098
2009	289469	25340	0,088
2010	351381	28577	0,081
2011	386156	28688	0,074
2012	403551	29502	0,073

Fonte: O autor (2015)

Na Tabela 4.1, os anos de 2000 e 2010 foram considerados épocas de Censo Demográfico determinado pelo IBGE. Observou-se que durante o período estudado, o IIE reduziu 78,21% em Minas Gerais. Isso significa que, de 1995 a 2012, os mesmos bens e serviços estão sendo produzidos com menor quantidade de energia e o principal objetivo é de que esta eficiência se torne cada vez maior a cada ano que se passa. Não existem limites para os valores do indicador. Enquanto houver relação entre o consumo energético e o PIB (ou Valor Adicionado), haverá um valor de intensidade.

O Gráfico 4.1 mostra a evolução da Intensidade Energética durante o período estudado, comprovando esta ideia de o estado se tornar cada vez mais "eficiente" energeticamente, a cada ano.

Gráfico 4.1 – Evolução da Intensidade Energética em MG



Fonte: O autor (2015).

Minas Gerais apresenta uma forte participação de commodities internacionais na pauta de produção da economia. O preço dessas commodities depende muito do mercado internacional e em 1997 e 1998, houve uma desaceleração do ritmo do crescimento da economia mundial (Japão e países do sudeste asiático). Este fato justifica a queda do PIB de Minas Gerais e uma elevação no indicador da Intensidade Energética (FJP, 1995 a 2012).

4.4.3 Comparação com outros estados brasileiros

Enquanto que em Minas Gerais a Intensidade Energética mostrava pouco menos que 0,200 em 2002, no estado de São Paulo este valor era de 0,069; entretanto, a partir deste ano até 2011, MG reduziu seu indicador em aproximadamente 60%, enquanto que em SP, este valor reduziu um pouco mais que 4%.

No estado do Rio de Janeiro, durante 1995 e 2012, o indicador de Intensidade Energética reduziu 7,9% considerando o consumo do setor residencial e 5,3% sem este setor, comprovando a utilização de lâmpadas mais eficientes utilizadas em residências, como as de LED no lugar das fluorescentes, por exemplo. Enquanto que em Minas Gerais, durante o mesmo período, a intensidade se reduziu em 78%.

Essa grande diferença entre MG com os estados de SP e RJ, refletem principalmente no crescimento do PIB muito maior que o consumo de energia do estado mineiro, enquanto que em SP e RJ, o PIB também crescia ao passar dos anos, porém, o consumo energético crescia aproximadamente com a mesma intensidade.

4.4.4 Intensidade Energética por setores de atividade

Nesta parte do trabalho serão especificadas as relações entre o consumo energético e os valores adicionados, resultando nos índices de intensidade energética, dos setores: Agropecuária, Industrial, Industrial de extrativa mineral, Transportes, Comércio e Público.

Serão apresentadas tabelas com os dados e resultados, e gráficos referentes ao indicador de Intensidade Energética.

O cálculo do IIE por setores de atividade, representado semelhante à relação anterior:

IIE= Ces/VA

Em que:

IIE – Indicador de Intensidade Energética;

Ces – Consumo total de energia por setor de atividade;

VA – Valor Adicionado, sendo uma *proxy* do PIB.

4.4.4.1 Agropecuária

A agropecuária, até o ano de 2007 representava 8,0% da estrutura de participação do valor adicionado total e Minas Gerais foi classificado em primeiro lugar entre os estados brasileiros neste setor à frente de São Paulo e Rio Grande do Sul (FJP, 2007).

Entretanto, foi o único entre os grandes setores da época, junto com indústria e os serviços, a apresentar retração considerando o ano anterior de 2006, com queda de 2,9% (FJP, 2007). Esta queda se deve principalmente à agricultura, pois 2007 foi um ano em que houve baixa no ciclo cafeeiro, carência de chuvas, umidade relativa do ar baixa durante o inverno e temperaturas acima da média durante o ano.

A pecuária se destacou para a sequência crescente de valor adicionado no período desses 2 anos, representando um acréscimo de 6,6% da participação.

A partir de 2008, a agricultura retornou com acréscimo de participações e se manteve entre as principais atividades de Minas Gerais.

O consumo energético por sua vez, manteve uma crescente durante todo o período estudado, explicado pelo acréscimo anual quantitativa de participação agropecuária, requerendo uma utilização maior de energia para a produção dos seus bens e serviços.

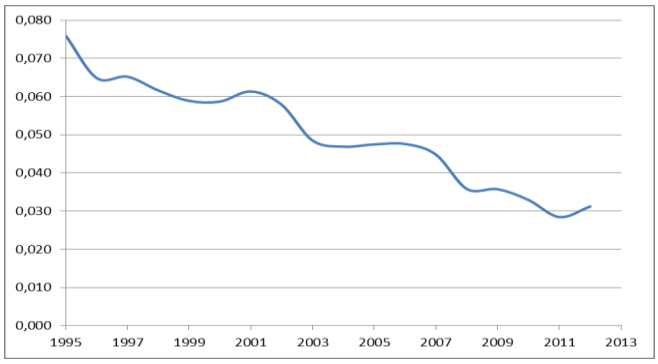
A tabela 4.2 a seguir mostra a relação da Intensidade Energética da Agropecuária. A Gráfico 4.2 por sua vez, representa a evolução da IIE no período de 1995 a 2012.

Tabela 4.2 – Relação entre Consumo Energético e Valor Adicionado - Agropecuária

	VALOR ADICIONADO (milhões de R$)	**Consumo Energético (mil tep)**	**Intensidade Energética Agropecuária**
1995	6134	466	0,076
1996	6921	449	0,065
1997	7621	497	0,065
1998	8392	517	0,062
1999	8866	522	0,059
2000	9286	545	0,059
2001	9047	555	0,061
2002	11167	646	0,058
2003	13488	654	0,048
2004	15423	723	0,047
2005	15568	739	0,047
2006	15700	747	0,048
2007	16855	755	0,045
2008	23233	832	0,036
2009	22716	812	0,036
2010	26102	859	0,033
2011	31092	884	0,028
2012	30215	943	0,031

Fonte: O autor (2015)

Gráfico 4.2 – Evolução da Intensidade Energética – Agropecuária



Fonte: O autor (2015).

O gráfico mostra uma variação durante o período estudado e nota-se a presença de picos e vales no decorrer dos anos. Isso ocorre principalmente pela variação da participação da agricultura na economia mineira, em relação ao mercado brasileiro e internacional. O consumo energético manteve-se em um crescimento constante durante os anos; contudo, o valor adicionado sofreu alterações devido à problemas climáticos, preços agrícolas, etc.

Até 2011, observou-se um decréscimo de 63,15% do IIE na agropecuária, representando uma quantidade muito significativa para a eficiência energética de Minas Gerais.

Em 2012 houve um pequeno acréscimo de 10% na Intensidade Energética, que foi relacionado pela inflexão nos preços das commodities agrícolas no valor adicionado da agricultura, caracterizado pela queda do nível de cotação da cana-de-açúcar, do café e do milho de MG (FPJ, 2012).

No estado do Rio de Janeiro, por exemplo, a Intensidade Energética no setor agropecuário aumentou 4,0% no período de 1995 a 2012, devido à ampliação da eletrificação rural e do processo de mecanização agrícola (BERJ, 2012).

4.4.4.2 Industrial

O setor industrial foi classificado de uma maneira geral, incluindo na economia o valor adicionado do resultado da indústria extrativa mineral, indústria de transformação, construção civil e serviços de utilidade pública (FJP, 2007).

O consumo energético industrial de Minas Gerais também se baseou em todas estas citadas anteriormente, resultando na origem da IIE Industrial. Por ser um setor com grande quantidade de participação na economia, desde o período inicial, o consumo se manteve com uma quantidade elevada de mil tep por ano (BEEMG, 2013).

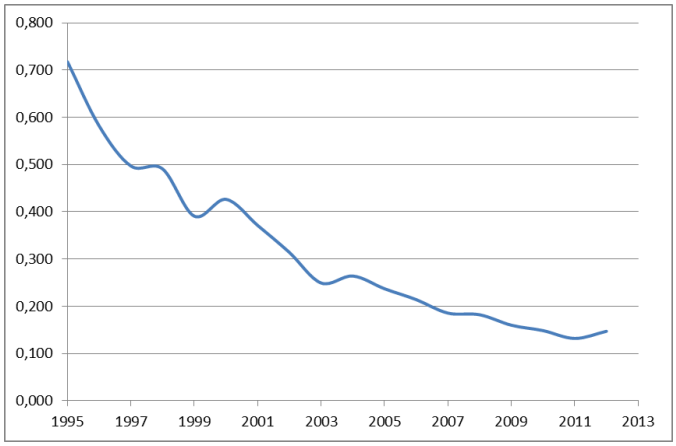
A tabela 4.3 mostra a relação entre o consumo e o valor adicionado industrial no período estudado. O gráfico 4.3 mostra a curva da Intensidade Energética durante o mesmo tempo.

Tabela 4.3 – Relação entre Consumo Energético e Valor Adicionado – Industrial

	VALOR ADICIONADO (em milhões de R$)	**CONSUMO ENERGÉTICO (mil tep)**	**INTENSIDADE ENERGÉTICA INDUSTRIAL**
1995	15402	11056	0,718
1996	18752	10907	0,582
1997	21136	10503	0,497
1998	22726	11154	0,491
1999	27798	10859	0,391
2000	27472	11712	0,426
2001	31708	11764	0,371
2002	39277	12327	0,314
2003	52531	13091	0,249
2004	54303	14334	0,264
2005	59713	14153	0,237
2006	66342	14195	0,214
2007	78924	14635	0,185
2008	78924	14363	0,182
2010	103376	15340	0,148
2011	111348	14679	0,132
2012	103354	15193	0,147

Fonte: O autor (2015).

Gráfico 4.3 – Evolução da Intensidade Energética - Industrial



Fonte: O autor (2015).

O IIE para o setor industrial do ano de 1995 até 2011 decaiu 81,62%. Trata-se de um valor muito importante para a eficiência energética mineira, já que as indústrias estão agregadas entre os maiores valores adicionados, relacionados com o elevado consumo de energia para a produção dos bens e serviços.

Durante o ano de 1995 a 2000, houve os maiores valores de intensidade energética, o que não significa afirmar que a economia mineira perdeu eficiência do ponto de vista energético. Nota-se que o indicador está se reduzindo a cada ano que passa. O estágio do desenvolvimento da indústria durante este período, a melhoria da eficiência energética, e máquinas com maior tecnologia, explicam este comportamento (EPE, 2007).

Em 2012, como no setor agropecuário, no industrial também houve um pequeno acréscimo de 10% da Intensidade Energética, fator explicado pela queda de participação do PIB em Minas Gerais, principalmente da indústria extrativa mineral, que será especificado posteriormente (FJP, 2012).

No Rio de Janeiro, por exemplo, durante 1995 a 2012, verificou-se uma retração de 48,9% da Intensidade Energética nas indústrias. Aproximadamente 38,5% menos que o estado mineiro.

4.4.4.3 Extrativa Mineral

A indústria de extrativa mineral se caracteriza por ser um setor de grande importância para o PIB mineiro. A sua crescente participação durante o período de 1995 a 2012, dá-se em razão da contínua expansão da demanda interna, principalmente pela Companhia Vale (maior empresa produtora de minério de ferro do país) e da demanda mundial, resultado também da elevação da cotação internacional do produto (FJP, 2007).

Entretanto, no ano de 2009 houve um significante decréscimo de 23,6% de participação da indústria de extração mineral em Minas Gerais, explicado por altos índices de impostos no setor não só no Brasil, como em outras siderúrgicas mundiais (FPJ, 2009).

Segundo o BEEMG (2013), o consumo enérgico da extração mineral foi representado pela energia gasta para a produção de minério, além de um acréscimo de energia para a pelotização do minério, ou seja, um tratamento térmico para transformá-lo em pequenas esferas. Todavia, o consumo energético em geral se manteve estável de acordo com as demandas de produção e bens que as siderúrgicas representavam ao longo dos anos.

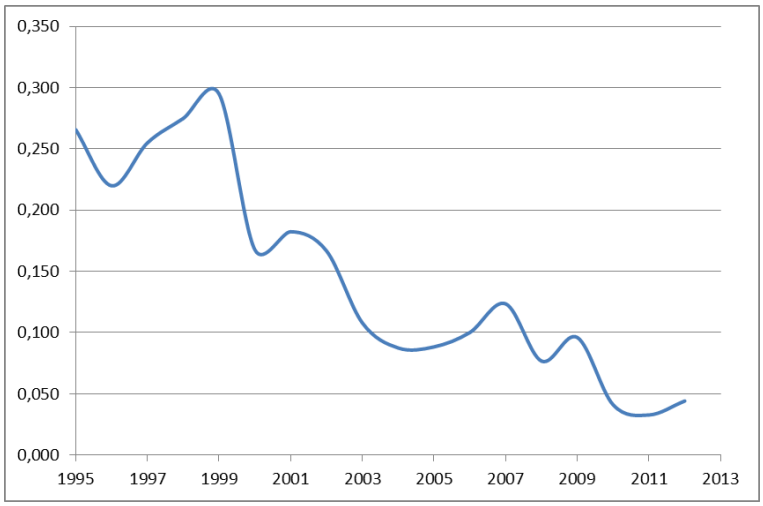
A tabela e o gráfico a seguir representam esta relação entre o consumo energético e valor adicionado na indústria de extrativa mineral.

Tabela 4.4 – Relação entre Consumo Energético e Valor Adicionado – Extrativa Mineral

	VALOR ADICIONADO (em milhões em R$)	CONSUMO ENERGÉTICO (mil tep)	INTENSIDADE ENERGÉTICA EXTRATIVA MINERAL
1995	1524	405	0,266
1996	2010	442	0,220
1997	1989	507	0,255
1998	1881	517	0,275
1999	1838	542	0,295
2000	3005	504	0,168
2001	2593	473	0,182
2002	3096	516	0,167
2003	4094	442	0,108
2004	5602	490	0,087
2005	6226	550	0,088
2006	5943	595	0,100
2007	5633	696	0,124
2008	10105	776	0,077
2009	7183	690	0,096
2011	27178	891	0,033
2012	21143	935	0,044

Fonte: O autor (2015).

Gráfico 4.4 – Evolução da Intensidade Energética - Extrativa Mineral



Fonte: O autor (2015).

Entre todos os subsetores estudados neste trabalho, a indústria de extrativa mineral apresentou a maior variação de Intensidade Energética durante o período de 1995 a 2012. Este fator se explica principalmente pela constante variação da cotação mundial do minério de ferro durante este tempo.

Contudo, a curva se mantém em queda, o que evidencia um futuro promissor para a eficiência energética nesse setor de extrema importância na economia mineira.

4.4.4.4 Transportes

O transporte é um dos principais fatores de produção de economia e agente indutor de riqueza e desenvolvimento não só de Minas Gerais, mas de todo o país. Entretanto, a má qualidade e falta de infraestrutura adequada elevam os custos, que são diretamente repassados aos consumidores (CNT, 2012).

O setor de Transportes, segundo o BEEMG (2013), foi classificado para o consumo energético, incluindo o transporte rodoviário, ferroviário, aéreo e hidroviário, sendo as rodovias, o principal modal para o escoamento de produção. Apesar de os automóveis se tornarem cada vez mais eficientes energeticamente (econômicos), o constante crescimento populacional proporciona uma maior quantidade de veículos nas rodovias, mantendo um consumo elevado, principalmente da fonte primária do petróleo. Todavia, vem-se observando uma crescente participação de outros modais como o setor ferroviário, transportando principalmente mercadorias de baixo valor agregado e grande quantidade de volume, como o minério de ferro e soja, além do transporte aéreo, em que o constante aumento de combustível e construção de novos pedágios influenciam a população a utilizar cada vez mais o transporte deste setor (CNT, 2012).

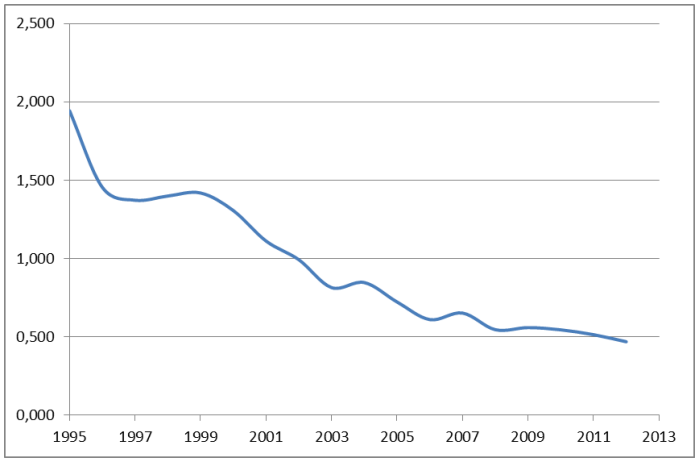
A tabela 4.5 mostra a relação entre o consumo energético, o valor adicionado no setor de Transportes durante o período de 1995 a 2012 e o IIE calculado. O gráfico 4.5 por sua vez, mostra a curva do índice durante o mesmo período de tempo.

Tabela 4.5 – Relação entre Consumo Energético e Valor Adicionado – Transportes

	VALOR ADICIONADO (em milhões de R$)	**Consumo Energético (mil tep)**	**Intensidade Energética Transportes**
1995	2318	4505	1,944
1996	3322	4832	1,455
1997	3785	5194	1,372
1998	3723	5209	1,399
1999	3734	5296	1,418
2001	4636	5154	1,112
2002	5157	5119	0,993
2003	6197	5048	0,815
2004	6659	5639	0,847
2005	8142	5885	0,723
2006	9744	5946	0,610
2007	10456	6818	0,652
2008	13000	7094	0,546
2009	12829	7170	0,559
2010	15422	8404	0,545
2011	17105	8791	0,514
2012	19749	9261	0,469

Fonte: O autor (2015).

Gráfico 4.5 – Evolução da Intensidade Energética – Transportes



Fonte: O autor (2015).

A Intensidade Energética do setor de transporte apresenta os maiores valores de todos os outros setores deste trabalho. Apesar de a curva do IIE demonstrar uma redução de aproximadamente 76%, o consumo energético é muito elevado em relação ao valor adicionado que o Transporte dispõe para a economia mineira.

Este fato pode ser explicado pelo excessivo consumo de combustíveis derivados do petróleo para a produção dos serviços e bens deste setor, principalmente pelo aumento constante da população e a maior necessidade de utilização de transportes em geral.

4.4.4.5 Comércio

O setor Comercial representa uma importância complexa para a economia mineira, explicado principalmente pela numerosa geração de empregos para a população.

Segundo o IBGE, em 2007, por exemplo, o comércio foi o setor que possuiu a maior contribuição para o crescimento da participação de Serviços na economia mineira, com destaque para o comércio varejista ampliado, que obteve um crescimento de 12,2% em relação ao ano anterior.

O consumo energético para a produção de bens e serviços comerciais, em contrapartida, se manteve linear em relação ao valor adicionado, representando uma das menores intensidades energéticas desde 1995 até 2012.

Isto ocorreu pelo baixo consumo de energia, principalmente elétrica, através de iluminações e outros componentes que utilizam pouca energia para manter o comércio ativo, produzida em grande porte através das usinas hidrelétricas, que são responsáveis por aproximadamente 85% de toda produção de energia elétrica do Brasil.

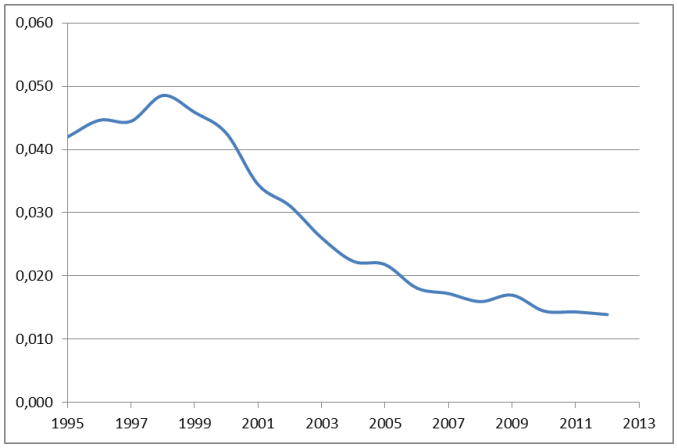
A tabela e o gráfico a seguir mostram a relação do consumo energético mineiro em relação ao valor adicionado para a economia, representada posteriormente pela Intensidade Energética e a curva do índice estudado.

Tabela 4.6 – Relação entre Consumo Energético e Valor Adicionado - Comércio

	VALOR ADICIONADO (em milhões de R$)	CONSUMO ENERGÉTICO (mil tep)	INTENSIDADE ENERGÉTICA COMÉRCIO
1995	5956	250	0,042
1996	6006	268	0,045
1997	6613	294	0,044
1998	6552	318	0,049
1999	7325	336	0,046
2000	8551	364	0,043
2001	9897	341	0,034
2002	10967	341	0,031
2003	13559	353	0,026
2004	16355	365	0,022
2005	17654	385	0,022
2006	21945	397	0,018
2007	24632	424	0,017
2008	28408	453	0,016
2009	28445	483	0,017
2010	34438	498	0,014
2011	38263	548	0,014
2012	41964	583	0,014

Fonte: O autor (2015).

Gráfico 4.6 – Evolução da Intensidade Energética – Comércio



Fonte: O autor (2015).

Durante o ano de 1995 a 2000, houve consecutivos déficits na balança comercial em relação à importação e exportação de produtos para o exterior, fazendo com que a participação do comércio na economia sofresse consequências negativas e aumentasse o índice de Intensidade Energética. Os números do valor adicionado comercial em MG apresentam valores relativamente baixos neste período (IPEA, 2005).

Em 1994, quando 1 real chegou a representar 1 dólar, os produtos importados invadiram o país. A situação só começou a melhorar em 1999, quando houve a desvalorização do real e as exportações voltaram a ganhar ênfase (IPEA, 2005).

Entretanto, o IIE comercial reduziu-se aproximadamente 67% durante todo período de 1995 a 2012, conforme o gráfico acima. Este valor reflete principalmente no aumento da participação da exportação mineira e o desenvolvimento da tecnologia.

4.4.4.6 Público

O setor Público deste trabalho agrega tanto os valores adicionados à economia de administração pública, quanto os valores de SIUP, que significa Serviços Industriais de Utilidade Pública, em que estão incluídas as áreas de produção e distribuição de energia elétrica, gás, água, esgoto e limpeza urbana (BEEMG, 2013).

Pode-se concluir que neste setor, em todo o período estudado, houve o menor valor de intensidade energética entre todos os outros setores estudados neste trabalho. Segundo a tabela 7 a seguir, em 2012, por exemplo, foram consumidos apenas 301 mil tep para serem produzidos aproximadamente R$ 60792 milhões em valores adicionados para a economia mineira.

Este fato se deve ao setor Público que utiliza pouca fonte de energia para produzir seus bens e serviços, principalmente com iluminação pública que tem uma parcela bem menor de consumo de energia elétrica em comparação com uma indústria de grande porte, por exemplo.

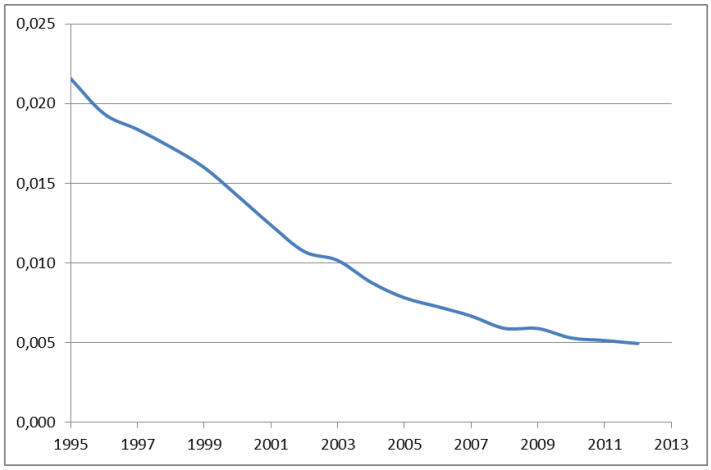
A tabela 4.7 mostra a relação entre o consumo energético e o valor adicionado do setor Público; e a consequente curva do IIE está representada no gráfico 4.7.

Tabela 4.7 – Relação entre Consumo Energético e Valor Adicionado – Público

	VALOR ADICIONADO (em milhões de R$)	**CONSUMO ENERGÉTICO (mil tep)**	**INTENSIDADE ENERGÉTICA PÚBLICO**
1995	8626	186	0,022
1996	10124	196	0,019
1997	11208	206	0,018
1998	12508	216	0,017
1999	13948	223	0,016
2000	16113	229	0,014
2001	17043	211	0,012
2002	20528	220	0,011
2003	23322	237	0,010
2004	26856	236	0,009
2005	30818	241	0,008
2006	34586	251	0,007
2007	38663	258	0,007
2008	43908	259	0,006
2009	44802	264	0,006
2010	50961	270	0,005
2011	57773	297	0,005
2012	60792	301	0,005

Fonte: O autor (2015).

Gráfico 4.7 – Evolução da Intensidade Energética – Público



Fonte: O autor (2015).

Durante todo o trabalho, o setor Público manteve sua curva com a maior constância durante o período de 1995 a 2012, reduzindo-se de aproximadamente 77% do início ao final deste período.

A predominância da utilização de energia no setor público é a iluminação tanto pública, quanto em prédios e escritórios. As tecnologias de lâmpadas LED predominaram esta redução no indicador, favorecendo a eficiência energética.

4.5 Considerações Finais

O foco principal deste trabalho foi desenvolver um estudo sobre a Intensidade Energética no estado de Minas Gerais durante o período de 1995 a 2012.

Considerando dados e fatos pesquisados, o estado tem apresentado uma melhoria em relação à eficiência energética nos últimos anos. Os mesmos bens e serviços nos diversos setores estão sendo produzidos com menor utilização de energia a cada ano que passa.

Observou-se que o setor Industrial apresenta a maior quantidade de consumo energético e que o setor Público apresenta a menor quantidade. Entretanto, ambas estão com curvas descendentes, representando uma melhoria na eficiência energética a cada ano que passa, assim como todos os outros setores estudados no trabalho.

Conhecer detalhes de dados e fontes utilizadas para o consumo de energia consequente da produção dos bens e serviços dos setores estudados neste trabalho parece ser um caminho trilhado para especialistas na área de energia e para as políticas responsáveis do setor energético. Através das curvas e dos números de IIEs, eles tomarem as melhores decisões para que Minas Gerais continue demonstrando resultados positivos de eficiência energética durante muito tempo.

2014

Capítulo 5: Atualização Do Mapeamento Energético[5]

Resumo: **Este trabalho trata de um estudo a respeito do estado da arte das fontes de energia capazes de gerar eletricidade, movimento ou calor. O texto é fundamentado nas informações contidas no livro "Alternativas Energéticas: Uma visão CEMIG" e acrescido de informações do atual nível de desenvolvimento da energia, como: estado de desenvolvimento da tecnologia, utilização, custos e nível de aplicação comercial. A partir da coleta de informações, buscou-se introduzir o assunto de maneira conceitual, seguida da atualização quanto ao nível de desenvolvimento das pesquisas relacionadas aos equipamentos, apresentando assim uma possível aplicação em larga escala comercial de acordo com o preço atual da tecnologia.**

5.1 Introdução

O homem utiliza energia desde o início da sociedade humana e, junto com ela, evoluiu também a maneira de se utilizar a energia, surgindo uma grande variedade de fontes e formas de energia utilizada.

Por esse motivo, a questão energética torna-se um fator importante e destaque no cotidiano das sociedades contemporâneas. A capacidade de produção, distribuição, conservação, otimização (melhorias) do uso da energia, a diversificação das fontes energéticas, fontes renováveis de energia, os avanços da biotecnologia e as tecnologias bioenergéticas com programas inovadores no Brasil como do álcool, já consolidado, e o do biodiesel, que está em elevado nível de desenvolvimento, são fatores que motivam o campo de pesquisa.

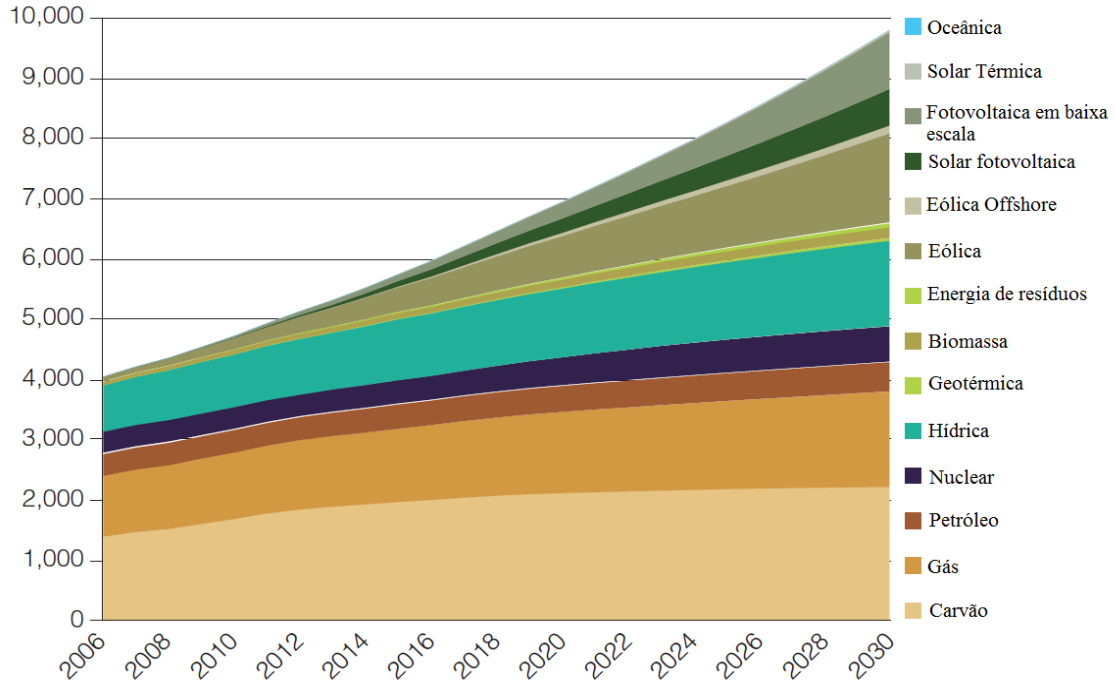
É considerada energia alternativa, aquela obtida das várias fontes de energia renováveis. Estas fontes incluem, entre outras, a energia solar, a eólica, a hídrica (ou hidráulica), a geotérmica, oceânica e da biomassa. Os combustíveis fósseis, outras fontes de energia, poluem o ar e estão sendo consumidos muito rapidamente, com efeitos devastadores na natureza. Por isso, os cientistas pesquisam outras fontes de energia para substituí-los (ESCOLA BRITÂNICA, 2014).

A maior parte das fontes de energia alternativa é renovável, o que significa que, ao contrário dos combustíveis fósseis, elas existem em quantidades ilimitadas e não são susceptíveis de se esgotar. Exemplos incluem o sol, o vento, os rios e oceanos, o calor do interior da Terra, e os biocombustíveis. Estas fontes de energia podem ser usadas para gerar eletricidade, para aquecer a água e, em alguns casos, para abastecer os veículos proporcionando movimento aos mesmos (ESCOLA BRITANICA, 2014).

A figura 5.1 apresenta a potência instalada das principais fontes de energia disponíveis, atualmente, sendo elas renováveis ou não e uma projeção da utilização até o ano de 2030, com base no consumo atual e possibilidade de investimento no desenvolvimento da tecnologia.

[5] Trabalho realizado pela estagiária Thais Luzia Costa Vidigal, em 2014.

Figura 5.1 – Potência instalada das fontes de energia



Fonte: World Energy, 2013.

5.2 Energia Solar

Forma de energia ainda em desenvolvimento que corresponde à geração de eletricidade a partir da radiação solar.

No ano de conclusão do livro “Alternativas Energéticas: Uma visão CEMIG”, as referências utilizadas citam a energia solar como uma participação incipiente na matriz energética brasileira, apenas a energia solar térmica para aquecimento de água tinha espaço no mercado nacional.

A geração de energia a partir da radiação solar pode ser dividida em três tipos: os painéis fotovoltaicos, a energia solar térmica e a energia solar termelétrica.

Os painéis fotovoltaicos são dispositivos utilizados na conversão de energia solar em energia elétrica através da absorção da radiação dos raios do sol pelas células fotovoltaicas.

A energia solar térmica consiste na absorção da radiação solar e consequente aquecimento do sistema, aquecendo assim, por exemplo, a água de residências e indústrias.

A energia solar termelétrica compreende na conversão da energia solar em calor e, em seguida, em eletricidade.

5.2.1 Painéis Fotovoltaicos

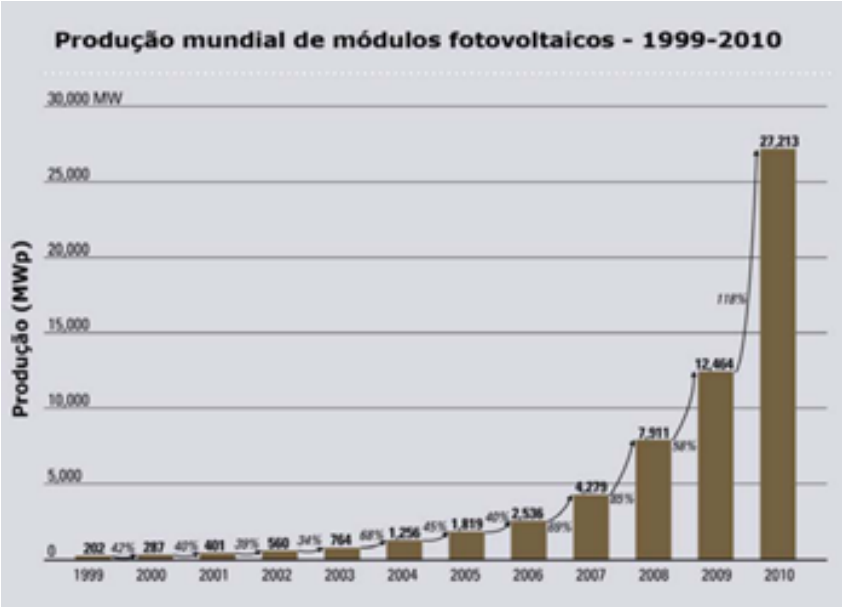
As soluções solares fotovoltaicas estão direcionadas para aplicações que se enquadrem na legislação nacional, nomeadamente na aplicação do protocolo da microgeração (Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW) (AES ELETROPAULO, 2014).

Assim, algumas empresas apresentam pacotes de soluções enquadrados com os patamares de potências elegíveis, facilitando a escolha e a aplicação da solução adequada a cada instalação. Os módulos fotovoltaicos de silício cristalino apresentam tecnologia de ponta, aplicados em estruturas de fixação de alumínio de acordo com a norma DIN 1055 (MARLA, 2014).

As fábricas que produzem os painéis garantem 90% da eficiência inicial ao final de 10 anos e 80% de eficiência inicial, findos 20 anos de utilização dos módulos. A energia fotovoltaica pode ser produzida de várias formas. Podem-se dividir em grupos básicos: tecnologia de células discretas e tecnologia de película fina integrada (MARLA, 2014).

Atualmente as células fotovoltaicas são produzidas utilizando silício, filmes finos e células orgânicas (poliméricas). A figura 5.2 apresenta um gráfico evolutivo da produção de células fotovoltaicas.

Figura 5.2 – Produção Mundial de módulos fotovoltaicos - 1999-2010



Fonte: PHOTON INTERNATIONAL, 2011.

5.2.1.1 Células de Silício

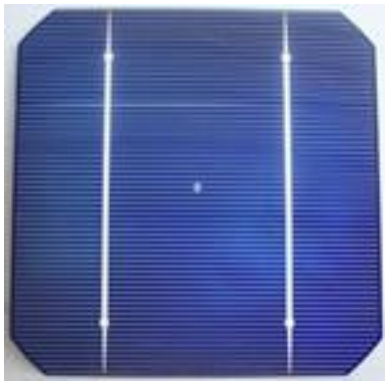
As células de silício apresentam posição consolidada na produção de eletricidade desde a escrita do livro "Alternativas energéticas: Uma visão CEMIG" e possui uma eficiência energética de 16%. As células de silício possuem lâminas relativamente extensas o que aumenta os custos de produção, sendo necessário o desenvolvimento de novos materiais para os painéis. As células de silício representam cerca de 80% do mercado mundial de energia fotovoltaica (CCBS ENERGIA, 2014).

Os painéis podem ser feitos utilizando silício monocristalino ou silício policristalino (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2014).

- Silício Monocristalino: fatias de blocos monocristais de silício crescente. Atualmente as células chegam a ter uma espessura de 2.000 microns. As células de pesquisa chegam aos 24% de eficiência, as comerciais perto de 16%.

- Silício Policristalino: fatias obtidas a partir de blocos de silício de pureza intermediária. Estas células tem um custo menor no fabrico e são menos eficientes, já que as de pesquisa têm cerca de 18% e as comerciais aproximam-se aos 14%.

Figura 5.3 – Painel fotovoltaico de silício monocristalino



Fonte: OCW-UNIA, 2014.

Os painéis mais comercializados atualmente são compostos por conjuntos de células de silício monocristalino ou policristalino, ligadas em paralelo ou em série, e possuem rendimentos que variam entre os 10 e 13%. A potência destes depende do tipo de ligação feita entre as diversas células (em série ou paralelo). Esta potência pode variar desde poucos Watts até 200 Watts (valores de equipamento comercializado) (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2014).

5.2.1.2 Células De Filmes Finos

As células solares de filmes finos são aquelas produzidas tendo como base o silício amorfo e a presença de elementos semicondutores. São principalmente constituídas de cobre, índio e selênio (CIS) e apresentam desde 2012 cerca de 2 a 3% de utilização mundial. Por ser uma tecnologia consideravelmente nova ao ser comparada com o silício, as células solares de filmes finos estão ainda no início de seu crescimento (LINS, J. INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2012).

A partir das células de filmes finos pretende-se diminuir os custos dos painéis e aumentar a durabilidade e confiabilidade dos mesmos, através da utilização de materiais de baixo custo e a mínima quantidade de energia utilizada na produção.

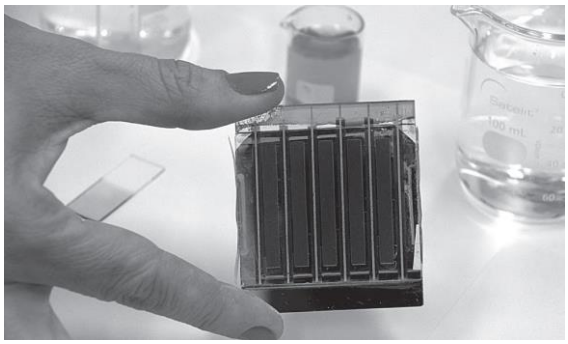
As células de filmes finos fabricadas com Cu, In, Ga, Se2 (também conhecidas por CIGS) possuem 0,2% do mercado de células fotoelétricas e possuem um rendimento energético inferior aos painéis solares de silício. Sendo assim, a área necessária para instalação dos painéis com células de filmes finos é aproximadamente duas vezes maior que a área utilizada para a produção da mesma quantidade de energia por células de silício cristalino. (OLIVEIRA, H.E, 2008).

A área ocupada para acomodação dos painéis fotovoltaicos deve ser levada em conta ao se escolher a tecnologia mais indicada para aplicação e não apenas seu valor de Wp (OLIVEIRA, H. E, 2008).

O principal problema enfrentado para um aumento na fabricação dos filmes finos CIGS e CIS está relacionado à quantidade de índio (In) utilizado para sua concepção, uma vez que a maioria desse material é destinada, atualmente, a produção de televisões e aparelhos como LCD's e monitores de plasma (OLIVEIRA, H.E, 2008).

Em síntese, as células solares de filmes finos já possuem valores comercializáveis, entretanto sua eficiência energética ainda encontra-se em fase de estudo e desenvolvimento para viabilidade mercadológica. A figura 5.4 apresenta uma célula fotovoltaica de filmes finos, dispostos em multicamadas, fabricada em laboratório.

Figura 5.4 – Filmes finos de multicamadas



Fonte: JORNAL DA UNICAMP, 2012.

A figura 5.5 apresenta um quadro comparativo referente às vantagens e desvantagens da utilização de células solares de filmes finos.

Figura 5.5 – Vantagens e desvantagens da utilização de células de filmes finos

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Diminuição dos custos de produção (padronização adquirida com a produção em larga escala);	Raridade de alguns materiais utilizados na produção das células fotovoltaicas;
Diminuição do consumo de energia durante a produção das células	Pouca disseminação das tecnologias;
Materiais semicondutores com espessura em torno de 1 μm (daí o nome filmes finos) o que possibilita uso de quantidades pequenas de materiais por módulo;	Baixa eficiência se comparada a outras tecnologias (necessidade de uma maior área de módulos para produção de mesma quantidade de energia elétrica quando comparada a outros tipos de tecnologias fotovoltaicas);
Podem-se utilizar substratos de baixo custo (aço, plástico, etc) para a deposição dos filmes finos (o que diminui custos e possibilita a reciclagem/reaproveitamento dos materiais utilizados nos painéis);	Diminuição da eficiência ao longo de um curto período de tempo para alguns tipos de tecnologias (Efeito Staebler-Wronski).
Painéis podem ser facilmente incorporados aos projetos arquitetônicos devido às suas características de durabilidade, flexibilidade, leveza e transparência (podem ser usados em fachadas, telhados, etc);	
Painéis com aparência estética mais atraente.	

Fonte: OLIVEIRA, H.E, 2008 (adaptado).

5.2.1.3 Células Orgânicas

As células orgânicas, também conhecidas como células poliméricas, são ainda produzidas apenas para fins de análise e estudo. Acredita-se que em médio prazo chegarão a níveis altíssimos de transparência e eficiência necessária para alimentar dispositivos como tablets e smartphones (AGENCIA SINC, 2013).

Atualmente a fabricação de células solares de polímeros continua pouco rentável em termos econômicos e energéticos, pois mantem uma baixa conversão de energia solar em energia elétrica ao serem comparadas com as células de silício. A eficiência energética dessas células está em torno de 9 a 10%, enquanto as de silício chegam a 15% em escala comercial (AGENCIA SINC, 2013).

Apesar da crise mundial, o setor de produção de células fotovoltaicas manteve seu crescimento em 10% na Europa, que possui atualmente cerca de 50% do total de células orgânicas (AGENCIA SINC, 2013).

O Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI) tem desenvolvido estudos avançados no desenvolvimento dessas células, consideradas de terceira geração. Foram criados diversos protótipos com células flexíveis utilizando pontos quânticos (CENTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO RENATO ARCHER, 2014).

Figura 5.6 – Células solares orgânicas

Fonte: *Renovables* Verdes, 2014.

5.2.1.4 Células com concentradores de radiação

Todas as tecnologias fotovoltaicas anteriormente descritas utilizam a luz natural do sol. Como uma fonte alternativa da utilização da radiação solar, foram desenvolvidas tecnologias de concentradores solares. Pesquisas focadas na elevada eficiência dos concentradores solares estão sendo desenvolvidas já que a área necessária para instalação da tecnologia é muito menor que a utilizada para as células solares (IEA, 2010).

Sistemas de baixa e média concentração funcionam com alta eficiência em células solares de silicone. Para níveis elevados de concentração são utilizados semicondutores do tipo III-V nas células solares com concentradores de radiação e eficiências de 40% tem sido alcançadas em laboratório utilizando essa tecnologia. Apresentam atualmente 23% de eficiência do sistema de corrente alternada e espera-se alcançar 30% em médio prazo (IEA, 2010).

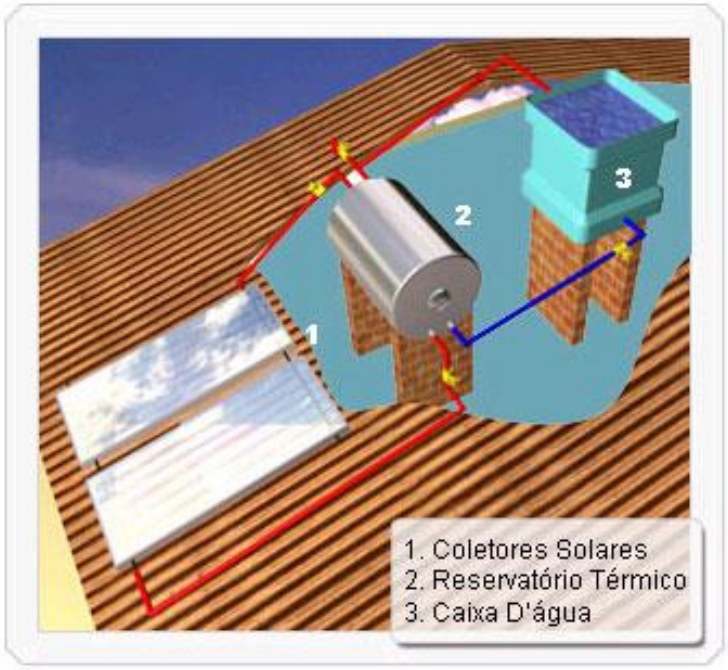
A tecnologia de concentradores está atingindo escala comercial e elevada aplicabilidade, entretanto, são necessários mais esforços de P&D em sistemas óticos, montagem de módulos, sistemas de rastreamento, dispositivos de alta eficiência, fabricação e instalação (IEA, 2010).

5.2.2 Térmica

É utilizada principalmente para obtenção de calor. Corresponde à absorção da radiação sem promover sua concentração, coletores planos. O aquecimento solar térmico é a tendência atual para aquecimento de grande parte da água utilizada em indústrias e domicílios. O aquecimento da água por meio de energia solar está consolidado técnica e economicamente e sua utilização é ampla tanto nacionalmente quanto mundialmente (ATLAS SOLARIMÉTRICO, 2012).

A figura 5.7 apresenta um esquema do aquecimento de água residencial utilizando como fonte de aquecimento a radiação solar.

Figura 5.7 – Esquema do aquecimento de água residencial



Fonte: Maksolar, 2014.

5.2.3 Energia Solar Termelétrica

Para que haja a geração da eletricidade por meio do vapor gerado durante a absorção da radiação solar, é necessário que haja uma concentração dessa radiação em algum ponto. A concentração de radiação leva a um aumento no investimento dos equipamentos devido à necessidade de utilização de tecnologias que se adaptem as diferenças de radiação recebidas pela Terra, devido ao movimento de rotação. A figura 5.8 mostra o esquema de um coletor solar sem concentração e com concentração.

Figura 5.8 - Esquema de um coletor solar sem concentração (esquerda) e com concentração (direita)

Fonte: Cartilha Energias Renováveis, 2010.

A tecnologia solar termelétrica tem aplicação principalmente nas usinas de maior porte na geração centralizada de energia, já que apresentam maior confiabilidade, uma vez que fornecem energia despachável quando combinada em sistemas híbridos e unidades de armazenamento térmico (ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS – UMA VISÃO CEMIG, 2012 b).

A vantagem na conversão de calor em eletricidade está nos custos relacionados aos equipamentos e tecnologias utilizados, entretanto, a conversão de energia solar em calor e em seguida em eletricidade implica numa perda termodinâmica da energia disponível (ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS – UMA VISÃO CEMIG, 2012 a).

A concentração solar termelétrica é subdividida em Refletores lineares do tipo Fresnel, calhas parabólicas, torres solares e discos parabólicos. Para que haja sua instalação é necessário um grande espaço aberto para que haja o posicionamento dos espelhos e disponibilização de irradiação solar ampla (ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS – UMA VISÃO CEMIG, 2012 a).

A maioria dos projetos *Concentrated Solar Power* (CSP) atualmente em construção ou desenvolvimento é baseada na tecnologia de calhas parabólicas, já que é a tecnologia mais madura e mostra o risco de desenvolvimento menor. Parabólicos e torres solares, podem ser combinados com o armazenamento (água em barris) de energia térmica, podendo cumprir os requisitos de utilidade escala, usina escalonável (ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS – UMA VISÃO CEMIG, 2012 a).

Apesar das calhas parabólicas serem as plantas mais utilizadas comercialmente não são ainda uma tecnologia madura, pois necessitam de melhorias na eficiência e redução dos custos). Outra limitação encontrada é que a geração de eletricidade encontra-se restrita aos períodos de exposição à luz do sol (ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS – UMA VISÃO CEMIG, 2012 a).

Sistemas solares Fresnel (lineares) e torres solares estão apenas começando a ser implantados e existe um potencial significativo para reduzir seus custos de capital e melhorar o desempenho, particularmente para torres solares. No entanto, a calha parabólica, mesmo com a sua menor flexibilidade, apresenta baixo risco, sendo a melhor opção nos dias de hoje (ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS – UMA VISÃO CEMIG, 2012 a).

Há um interesse crescente em torres solares operando em altas temperaturas utilizando sal fundido ou óleos sintéticos como o fluido de transferência de calor e de armazenamento, devido ao potencial para a redução de custos, maior eficiência e oportunidades de armazenamento de energia expandido. Sendo uma tecnologia promissora para o futuro (RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES, 2014).

Tecnologias CSP oferecem uma grande oportunidade para os locais de fabricação, o que pode estimular a economia local, incluindo a criação de empregos. (IRENA RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES, 2014).

5.2.4 Custos

A figura 5.9 ilustrará uma estimativa de decrescimento do preço de energia solar fotovoltaica. A análise do gráfico permite uma compreensão a respeito do grau de desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica (PV). Observam-se níveis de competitividade cada vez mais aceitáveis, tornando uma tecnologia disponível comercialmente no mercado de energia.

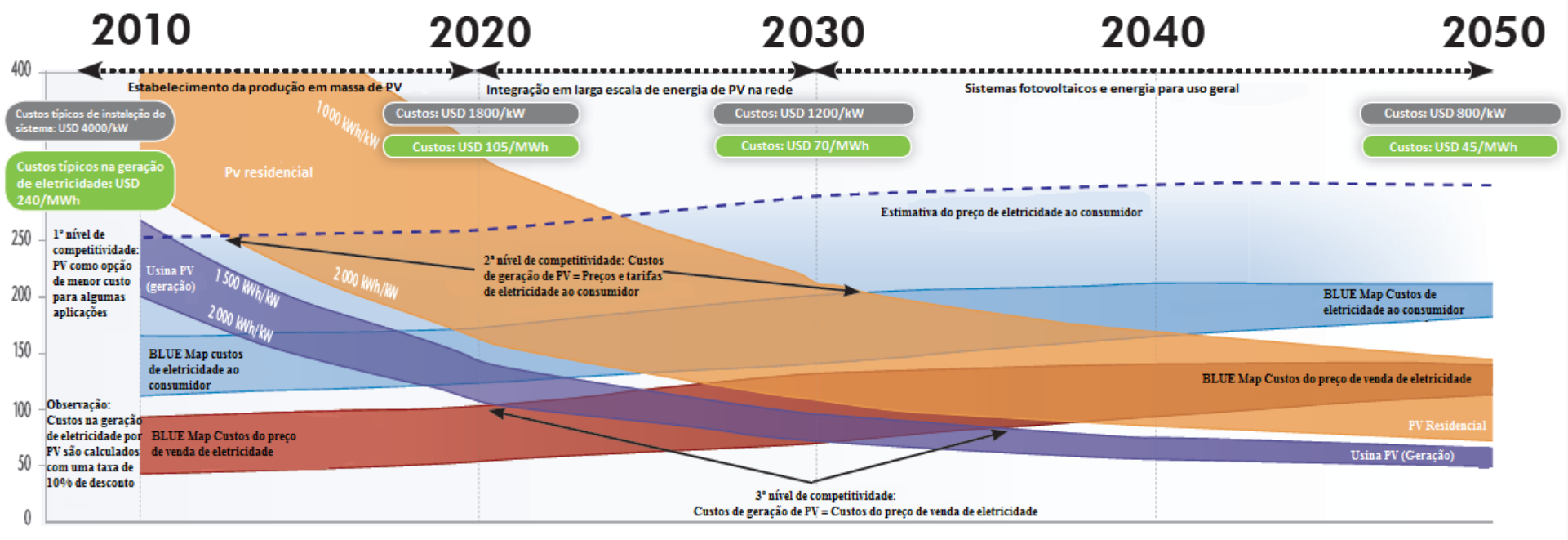
Em 2050, a capacidade instalada global poderá alcançar 3000 gigawatts, fornecendo 4500 TWh por ano o que corresponde a 11% da produção mundial de eletricidade. Com isso haverá uma redução de 2,3 giga toneladas de CO_2 por ano. Esse nível de desenvolvimento fotovoltaico trará benefícios substanciais em termos do abastecimento energético e desenvolvimento socioeconômico (IEA, 2014).

Na primeira década é esperada uma redução de mais de 50% nos custos dos sistemas e geração de fotovoltaicos. Os sistemas residenciais e comerciais atingirão um nível de igualdade de rede, ou seja, ocorrerá em 2020 em várias regiões, uma paridade com os preços de outras energias fornecidos ao consumidor (IEA, 2014).

Como a paridade de rede é alcançada, o quadro político deve evoluir no sentido de fomentar os mercados autossustentáveis, com a eliminação progressiva de incentivos econômicos, mas mantendo garantias de acesso à rede e permanecendo o apoio às pesquisas (IEA, 2014).

Até 2030, os custos típicos com os sistemas de geração das usinas de PV poderão reduzir de USD 7 para USD 13 cents/kWh. Como a PV desenvolve-se em uma tecnologia *mainstream* (dominante, generalizada), a integração na rede e a gestão e armazenamento de energia tornam-se questões chaves a serem exploradas (IEA, 2014).

Figura 5.9 – Estimativa de crescimento do preço de energia solar fotovoltaica



Nota: A capacidade do cenário Blue Map foi calculada usando 1500 kWh/kW.

FONTE: IEA, 2014 (adaptado).

A indústria PV, os operadores de rede e as usinas precisarão desenvolver novas tecnologias e estratégias para integrar a larga escala de PV em redes flexíveis, eficientes e inteligentes (smart grid) (IEA, 2014).

Os governos e as indústrias P&D devem aumentar os esforços para reduzir os custos e garantir a prontidão para uma rápida implantação PV, apoiando inovações tecnológicas de longo prazo (IEA, 2014).

Há uma necessidade de colaboração internacional na pesquisa de PV, para que haja uma aceleração no aprendizado evitando esforços duplos para um mesmo desenvolvimento (IEA, 2014).

A figura 5.10 apresentará um quadro resumo dos principais produtores de energia solar fotovoltaica de painéis de silício cristalino e os custos de produção em dólares.

Figura 5.10 – Custos de produção de energia (USD/ MWh)

Custos nivelados da tecnologia solar fotovoltaica				
	Gastos de instalação (USDm/ MW)	Gastos de manutenção (USD/ MW/ ano)	Fator de Potência instalada (%)	Custos de produção de energia (USD/ MWh)
Alemanha	1,63	60000	11	226
China	1,45-1,05	17000	11-20	79-145
Espanha	1,63	25000	19	109
Estados Unidos	1,77	25000-60000	12-21	117-239
Nota: Valores referentes ao ano de 2012				

Fonte: World Energy, 2013 (adaptado).

Os filmes finos foram originalmente desenvolvidos como uma alternativa para painéis de silício cristalino em um período em que os custos de silício estavam significativamente mais elevados do que os preços atuais de mercado. Como resultado, os painéis de filmes finos possuem agora um preço muito semelhante ao dos painéis cristalinos. Os módulos de filmes finos apresentam atualmente um valor de USD 0,54/W (WORLD ENERGY, 2013).

A figura 5.11 ilustra a queda do preço dos painéis fotovoltaicos devido ao seu grande desenvolvimento. O gráfico é dividido por trimestres e ao observar como exemplo os mercados locais de energia mais cara (Alemanha), há uma maior instalação de células solares para auto consumo. No primeiro trimestre (Q1) de 2013 houve uma instalação de quase 800 MW enquando no segundo trimestre (Q2) a instalação ultrapassou 1000 MW, o que proporciona uma redução no preço da energia (WORLD ENERGY, 2013).

Figura 5.11 – Redução dos custos dos painéis fotovoltaicos

Fonte: World Energy

No caso dos painéis solares com concentração de radiação, há atualmente apenas cerca de 130MW de projetos operando globalmente, mas em torno de 700MW estão no processo para aplicação. Indicações de preços mostram que em alguns locais o custo de produção de energia ainda são elevados, mas que esses devem diminuir ao longo dos próximos dois anos, a um ponto em que se tornará competitiva se aplicadas em locais apropriados (WORLD ENERGY, 2013).

A energia solar térmelétrica ou térmica com concentração de radiação (CSP) é quase três vezes mais cara que a energia gerada pelo carvão e pelo gás convencional, e em média 50% mais cara que a energia solar fotovoltaica levando-se em consideração MWh. Como dito anteriormente, as calhas parabólicas são as mais utilizadas comercialmente nesse setor (WORLD ENERGY, 2013).

A análise de 2012 indicou um desenvolvimento das calhas parabólicas para os próximos dez anos, segundo o estudo os custos de armazenamento cairiam de USD 300 / MWh para valores entre USD120-1250/ MWh. A figura 5.12 apresenta um quadro com os custos atuais de produção de energia das calhas parabólicas. A diferença quanto ao tipo de calha consiste num possível armazenamento de energia solar para produção de energia em períodos onde não há radiação solar (WORLD ENERGY, 2013).

Figura 5.12 – Custos de produção de energia das calhas parabólicas

Custos nivelados da tecnologia de calhas parabólicas					
	Tipo	Gastos de instalação (USDm/ MW)	Gastos de manutenção (USD/ MW/ ano)	Fator de Potência instalada (%)	Custos de produção de energia (USD/ MWh)
Espanha, Estados Unidos e Austrália	Sem armazenamento	3,42-7,67	63340-59907	24-28	201-490
	Com armazenamento	6,00-10,96	61574-63700	28-42	156-469
China e Índia	Sem armazenamento	3,08-4,55	44000-45000	24-28	123-248
Nota: Valores referentes ao ano de 2012					

FONTE: WORLD ENERGY, 2013 (adaptado)

Até o ano de 2013, apenas um projeto de construção de uma planta parabólica teve seu financiamento confirmado, a planta será instalada no Chile com potência instalada equivalente a 35 MW (WORLD ENERGY, 2013).

5.2.5 Conclusão

Após um estudo atualizado de cada tecnologia que tem como energia primária a solar, ocorreu uma atualização do mapa no que diz respeito aos termos “desenvolvimento” e “consolidação”. Após discussão chegou-se a conclusão de que os termos podem ser substituídos, para tecnologias disponíveis, disponíveis em médio prazo e disponíveis em longo prazo, a fim de facilitar a compreensão do mapa.

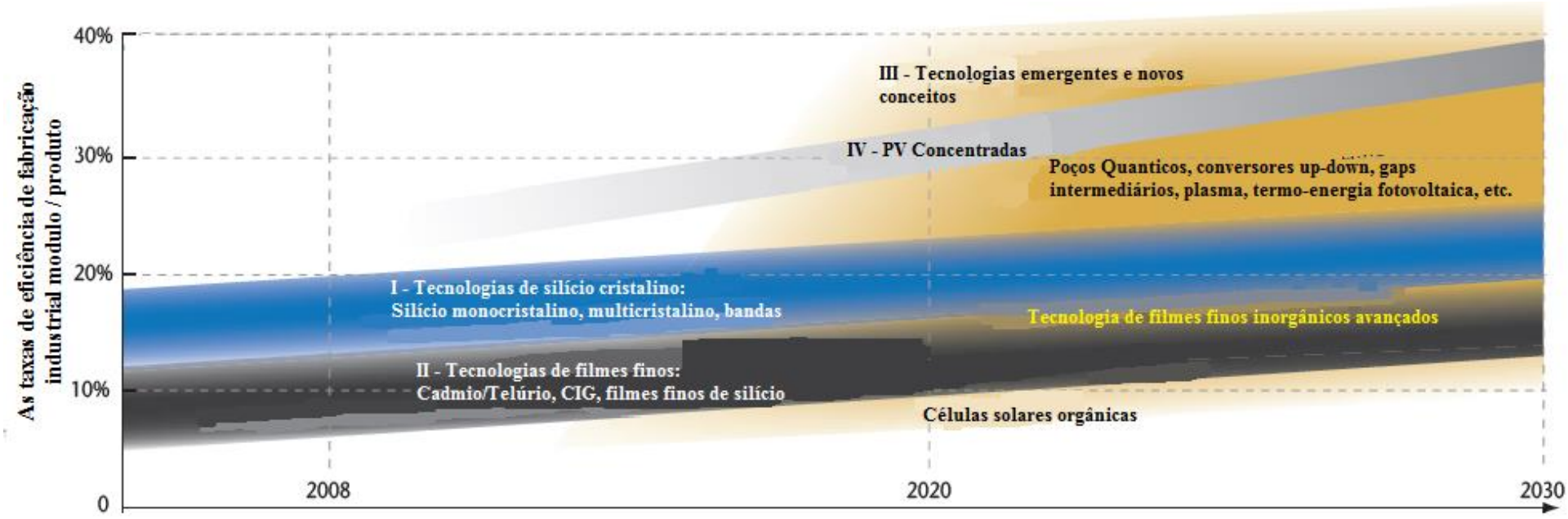
Há um foco em estudos e tecnologias sendo levado em conta o fator de desenvolvimento de pesquisas e não apenas sua aplicabilidade comercial. Sendo identificado no mapa por um ‘$’ quando a inviabilidade de implantação é apenas o alto custo de investimento.

O novo estudo mostra que os painéis fotovoltaicos de filmes finos apresentam um status avançado de desenvolvimento e que considerando o termo “tecnologia”, trata-se de algo já desenvolvido, entretanto com algumas barreiras relacionadas à sua eficiência quando consideradas sua produção em larga escala.

No caso das células orgânicas, pesquisadores já conseguiram desenvolver diversos protótipos das células, entretanto, a fabricação em larga escala dessas células continua sem ser viável economicamente e energeticamente. Em médio prazo espera-se chegar a altos níveis de transparência e eficiência necessárias para alimentar dispositivos (TENDENCIA 21, 2014).

A figura 5.13 apresenta um gráfico adaptado do desenvolvimento dos tipos de módulos de células fotovoltaicos, seguido de quadros explicativos do gráfico nas figuras 5.14 e 5.15.

Figura 5.13 – Status da tecnologia PV e suas perspectivas



Fonte: IEA, 2013 (adaptado).

Figura 5.14 – Quadro explicativo do gráfico para tecnologia de silício cristalino (I).

Tecnologia de silício cristalino	2010-2015	2015-2020	2020-2030/2050
Taxa de eficiência (módulos comercias)	Monocristalino: 21% Policristalino: 17%	Monocristalino: 23% Policristalino: 19%	Monocristalino: 25% Policristalino: 21%
Aspectos da indústria de transformação	Consumo de silício (Si) < 5 gramas/watt (g/w)	Consumo de silício (Si) < 3 gramas/watt (g/w)	Consumo de silício (Si) < 2 gramas/watt (g/w)
Aspectos de P&D	Novos materiais de silício e processamento. Contatos celulares, emissores e passivação	Estruturas melhoradas dos dispositivos. Otimização de custos e produtividade	Novas estruturas de dispositivos com novos conceitos. Tecnologias equivalentes Wafer

Fonte: IEA, 2013 (adaptado).

Figura 5.15 – Quadro explicativo para Tecnologia de filmes finos (II).

Tecnologia de filmes finos	2010-2015	2015-2020	2020-2030/2050
Taxa de eficiência (módulos comercias)	Filmes finos: Si:10% Cobre-indio/galio (CIGS): 14% Cadmio-Telúrio (CdTe): 12%	Filmes finos Si: 12% CIGS: 15% CdTe: 14%	Filmes finos Si: 15% CIGS: 18% CdTe: 15%
Aspectos da indústria de transformação	Alta taxa de deposição. Produção rolo a rolo. Embalagem.	Processos de produção simplificados. Baixo custo de empacotamento.	Produção de muitas células de alta eficiência.
Aspectos de P&D	Processos de deposição em grandes áreas. Melhorias dos substratos e transparência dos óxidos condutores.	Melhora na estrutura das células. Melhora nas técnicas de deposição.	Materiais e conceitos avançados.

Fonte: IEA, 2013 (adaptado).

Para a energia solar termelétrica com concentração de radiação, até que o custo das plantas de CSP comece a diminuir, não serão produzidas em larga escala para competir com o mercado de células fotovoltaicas.

Já a tecnologia térmica, encontra-se disponível desde a construção do antigo mapa apresentado pelo setor da TE/AE na CEMIG. O aquecimento solar térmico é a tendência atual para aquecimento de grande parte da água utilizada em indústrias e domicílios.

5.3 Nuclear

São usinas mais caras em comparação com outras termelétricas, mas que produzem energia mais barata e apresentam pequenos fatores de emissão de gases de efeito estufa.

Sua implantação é considerada de risco pela opinião pública devido aos acidentes ocorridos. A possibilidade de vazamento de radiação e/ou material radioativo assustam as pessoas. Além disso, os gastos exorbitantes com a implantação das usinas desestimulam sua construção.

Hoje, decorridos 70 anos do primeiro reator nuclear, o mundo conta com mais de 900 reatores em operação. Cerca de 430 deles são de grande porte e produzem eletricidade e 30% destes operam há mais de 30 anos. Aproximadamente 260 são de pequeno porte, voltados para pesquisa e produção de radio fármacos. E por volta de 220 são pequenos reatores usados em propulsão naval – sobretudo, em submarinos. Atualmente, estão sendo construídos no mundo 65 reatores nucleares voltados para a geração de eletricidade (ENSAIO FÍSICA, 2014).

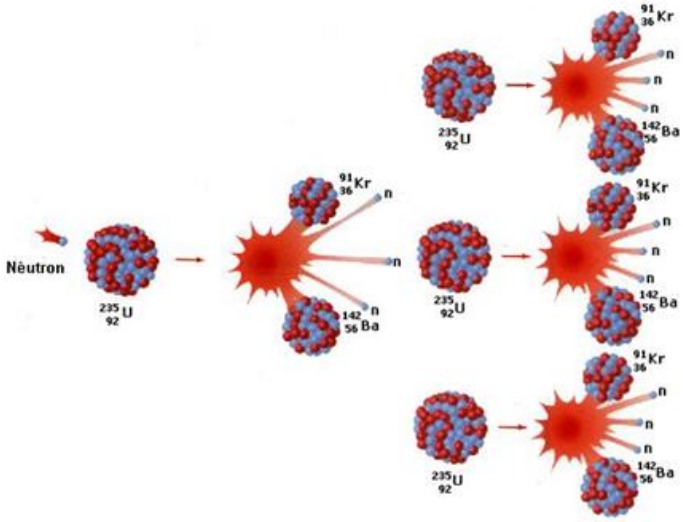
5.3.1 Fissão

A fissão nuclear utiliza um isótopo do urânio que corresponde a 0,7% do total existente na natureza. É assim considerada uma energia não renovável. Vale destacar que a relação entre reservas e produção de urânio físsil é da mesma dimensão que a verificada em combustíveis fósseis.

A disponibilidade de material físsil se multiplicaria 100 vezes se fosse viabilizada a produção de plutônio em reatores *breeders*, entretanto, trata-se de uma tecnologia extremamente complexa e ainda não atingiu de forma plena o estágio comercial, após décadas de desenvolvimento (REVISTA DO BNDES, 2014).

Dito de uma maneira resumida, a fissão nuclear é a quebra de núcleos grandes, formando núcleos menores e liberando grande quantidade de energia. A figura 5.16 apresenta um esquema da reação em cadeia da fissão nuclear partindo de um único nêutron.

Figura 5.16 - Fissão Nuclear



Fonte: MUNDO EDUCAÇÃO, 2014.

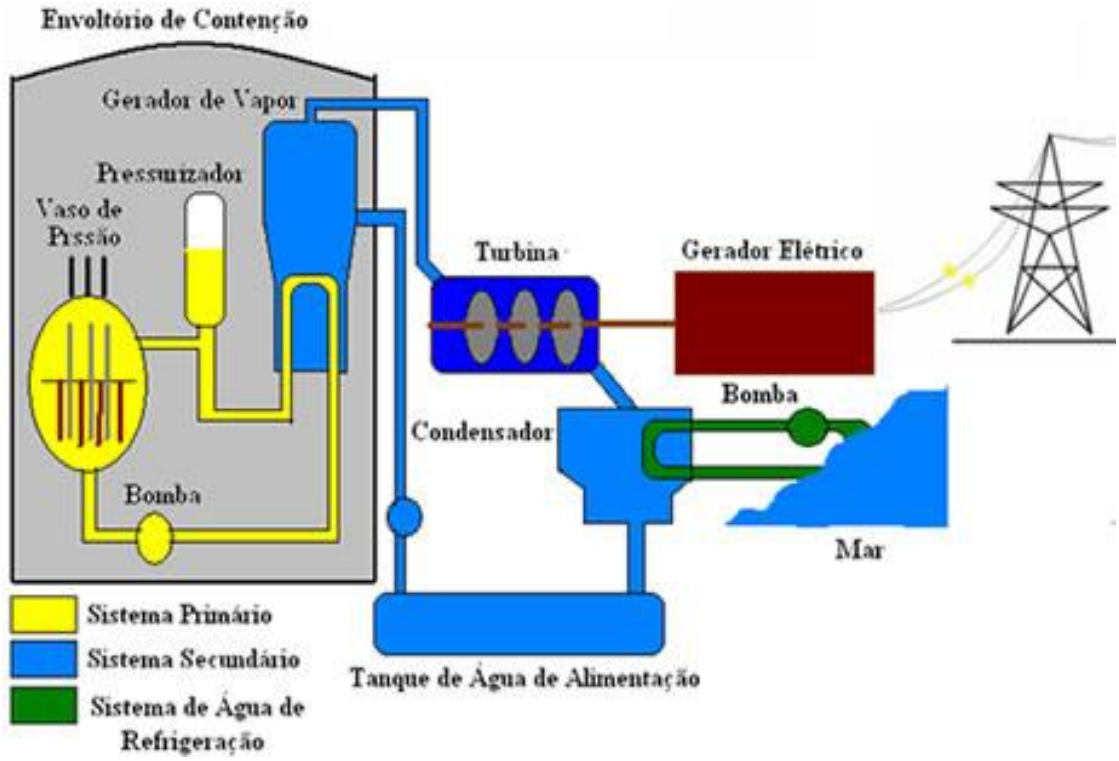
A fissão pode ser dividida em reatores de 1ª a 4ª geração. Sendo atualmente consolidados os de 1ª e 2ª geração.

Em um reator de potência do tipo PWR (termo, em inglês, para reator a água pressurizada), 1ª geração, como os reatores utilizados no Brasil, o combustível é o urânio enriquecido próximo de 3,5%. Isso significa que o urânio encontrado na natureza, que contém apenas 0,7% do isótopo 235 U, deve ser processado, "enriquecido", para que essa proporção chegue a 3,5% (ENERGIA PLANETA, 2011).

A figura 5.17 apresenta a divisão de uma usina nuclear em sistemas. Inicialmente o urânio é colocado em um vaso de pressão que com a fissão dos núcleos aquece a água, cuja função no sistema primário é de resfriar o núcleo do reator nuclear.

O aquecimento da água pelo setor primário transforma-se em vapor e esse é responsável por movimentar a turbina de um gerador elétrico. O vapor de água produzido é transformado em água por um condensador e resfriado (circuito de resfriamento dentro do condensador) por um sistema que bombeia água fria do mar (BRASIL ESCOLA, 2014).

Figura 5.17– Formação de uma usina nuclear



Fonte: BRASIL ESCOLA, 2014.

Em reatores de pesquisa ou de propulsão – estes últimos usados como fonte de energia de motores em submarinos e navios –, o enriquecimento pode variar bastante.

Os reatores de 3ª geração possuem tecnologia disponível, entretanto, as usinas se encontram em fase de implantação, por isso considerada no mapa como tecnologia disponível em médio prazo.

Os reatores de 4ª geração apresentarão disponibilidade em longo prazo, como resultado de desenvolvimento e geração nuclear total, em 2040 com um aumento de 17% da participação na matriz energética(*US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION*, 2014).

5.3.2 Fusão

A fusão nuclear é uma fonte de energia que em longo prazo poderá substituir de modo definitivo os combustíveis fósseis. Apresenta em termos técnicos um grande avanço e caso se torne comercialmente viável, poderá suprir as necessidades humanas durante milênios (EXAME, 2014).

Entretanto, mesmo após anos de pesquisa, a tecnologia se encontra em estágio inicial devido as grandes dificuldades técnicas apresentadas (EXAME, 2014).

Estudos recentes apresentam o primeiro reator de fusão que produz mais energia que consome, entretanto, assim como os reatores de 4ª geração a disponibilidade será alcançada em longo prazo (EXAME, 2014).

5.3.3 Custos

O desenvolvimento das plantas nucleares é restrito a algumas regiões e países específicos tais como: Rússia, China, Índia, Coreia do Sul e Emirados Árabes e alguns projetos na América do Sul, Estados Unidos e Europa Ocidental, por isso, o custo da energia ainda é consideravelmente alto (WORLD ENERGY, 2013).

O custo da energia pode variar consideravelmente devido ao alto capital inicial necessário na construção dos reatores. Sendo assim, o valor do custo de produção da energia nuclear está normalmente associado aos gastos com a implantação da usina e ligeiramente interferido pelos preços do Urânio (WORLD ENERGY, 2013).

Os reatores globais pressurizados que estão em construção na França e na Finlândia, correspondem a um custo elevado de US$ 7 m/MW. Já os projetos no Oriente Médio como a de Barakah (5,6 GW) há um custo estimado de US$ 3,6 m/MW, sendo considerada uma usina de baixo custo. A figura 5.18 apresenta uma tabela relacionando o custo da produção de energia nuclear em usinas de baixa produção (Barakah), usinas de produção mediana e usinas de alta produção (Reatores pressurizados) (WORLD ENERGY, 2013).

Figura 5.18 – Custos de produção de energia elétrica a partir da energia Nuclear

Custos nivelados da energia elétrica nuclear				
	Gastos de instalação (USDm/ MW)	Gastos de manutenção (USD/ MW/ ano)	Fator de Potencia instalada (%)	Custos de produção de energia (USD/ MWh)
Alto Custo (reatores pressurizados)	6,52	122880	92	147
Central	4,8	72000	88	94
Baixo Custo (Barakah)	3,57	56000	85	91

Fonte: WORLD ENERGY, 2013 (adaptado).

Devido a possível utilização em um longo período, uma vez instalada não necessita de grandes manutenções, ela se torna uma opção viável de geração de energia, o que poderá reduzir significativamente os preços da energia (WORLD ENERGY, 2013).

5.3.4 Conclusão

Alteração no texto do livro no que diz respeito ao ano de operação da usina Angra III. Seu funcionamento está previsto para maio de 2018 e não para o ano de 2015 (GLOBO, 2014).

A energia nuclear, no contexto dos energéticos, está restrita – pelo menos até hoje – à geração de eletricidade, o que limita seriamente seu emprego nos transportes. O Brasil, atualmente, conta com duas unidades nucleares de grande porte para geração de eletricidade: Angra I, em funcionamento há 30 anos, e Angra II, a partir de 2000. Também localizado em Angra dos Reis (RJ), o reator Angra III, em construção, está previsto para entrar em funcionamento em 2018 (CIENCIA HOJE, 2014). A figura 5.19 ilustra a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto em Angra dos Reis no estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.19 - Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto em Angra dos Reis, no Rio de Janeiro. O complexo é formado pelas usinas Angra I, em funcionamento há 30 anos, Angra II, em atividade desde 2000, e Angra III, em construção

Fonte: CIENCIA HOJE, 2014.

Conclui-se que nos últimos três anos (2011-2014) não houve desenvolvimento notório das tecnologias empregadas à energia nuclear.

Nas previsões de longo prazo é frequente a consideração de que a fusão nuclear não será economicamente viável antes de 2050 (REVISTA DO BNDES, 2011).

5.4 Energia Geotérmica

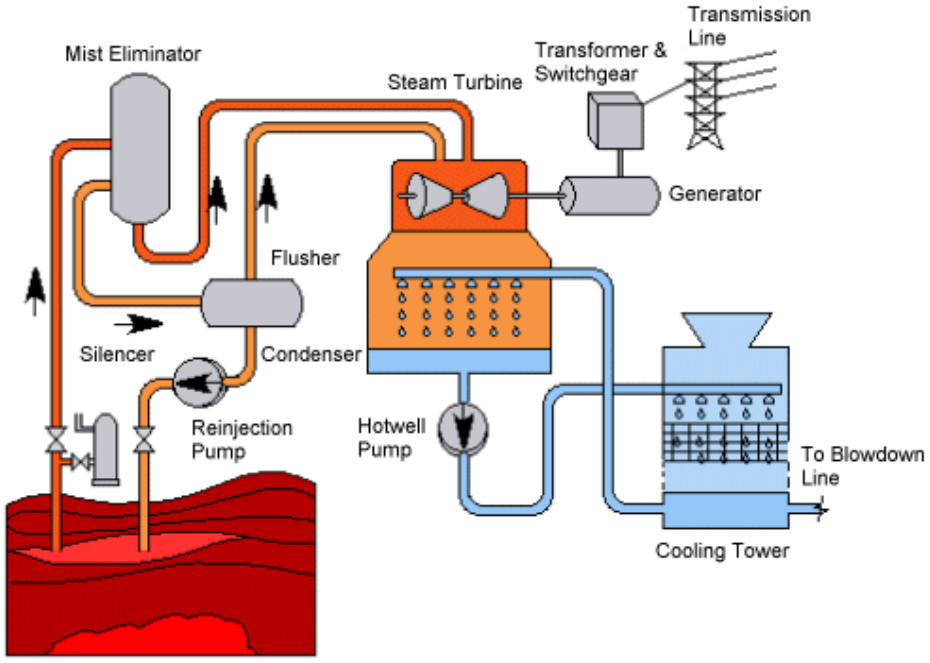
O calor obtido a partir do interior da terra é utilizado para aquecimento de residências em escala comercial desde 1920. Na maioria dos casos isso ocorre utilizando-se os gêiseres, fontes de água quente e vapor d'água (naturais) para conseguir água quente e vapor para aquecimento (ENERGIAS ALTERNATIVAS, 2014).

De maneira geral é considerada uma alternativa energética limpa devido a pouca ou praticamente nula liberação de gases de efeito estufa de maneira direta. Sua área de instalação é consideravelmente pequena o que permite o abastecimento de regiões mais isoladas (ENERGIAS ALTERNATIVAS, 2014).

O problema enfrentado pela energia geotérmica está associado ao alto custo de investimento estrutural e seu baixo retorno em eficiência energética. Além disso, há um aquecimento do ambiente devido ao calor perdido durante o processo de obtenção da energia geotérmica (BCDJMENERGIA BLOGSPOT, 2009).

A obtenção e aproveitamento da energia geotérmica podem ser divididos em temperaturas baixas, temperaturas altas e temperaturas ultra altas e em desenvolvimento encontram-se as rochas secas. A figura 5.20 apresenta um esquema de geração de energia e aquecimento a partir do calor encontrado no interior da terra.

Figura 5.20 – Esquema da obtenção de eletricidade e calor a partir da energia geotérmica



Fonte: ENERGIAS ALTERNATIVAS, 2014.

5.4.1 Baixas Temperaturas

Em baixas temperaturas (20 ºC - 150 ºC) há uma utilização direta para fornecimento de calor para indústrias, aquecimento ambiente, termas e usinas termelétricas binárias.

Para o aquecimento direto da água um poço é perfurado, onde é possível encontrar água aquecida. O líquido então é tubulado para que chegue ao local onde seu calor será aproveitado, neste local existe um trocador de calor com a água para o uso, a água quente do poço aquece a água que está à temperatura ambiente na tubulação e circula nesse sistema. Após o aquecimento da tubulação, a água é devolvida para o poço, onde será aquecida novamente (BCDJMENERGIA BLOGSPOT, 2009).

Esse método é mais utilizado, pois como não há manipulação da água, ela não estará contaminada ao ser devolvida para o solo, o que reduzirá o prejuízo ao mesmo. Em sistemas antigos a água era retirada diretamente, porém, com a falta de reposição da água ao poço, o recurso iria se esgotar brevemente e também poderia causar problemas no solo. Nos tempos de hoje, a água é utilizada apenas no trocador de calor, sendo injetada rapidamente no reservatório, não prejudicando o solo prolongando a duração do poço (SEED, 2014).

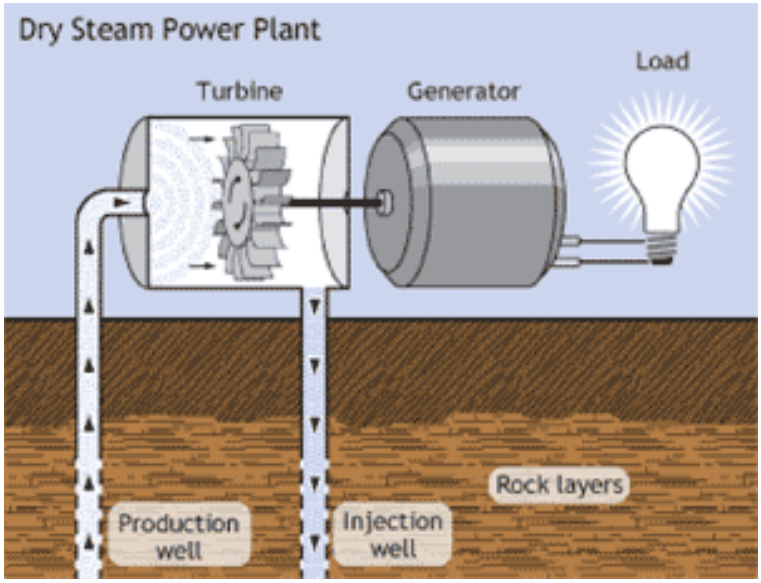
Sendo assim considerada uma tecnologia já disponível na obtenção de calor e eletricidade em usinas termelétricas binárias (ENERGIAS ALTERNATIVAS, 2014).

5.4.2 Temperaturas Altas e Ultra-Altas

A partir dos fluidos geotérmicos de altas temperaturas (acima de 150 ºC), há um aproveitamento direto dos mesmos na movimentação das turbinas em usinas termelétricas, obtendo assim como produto final a eletricidade.

A geração de energia ocorre de forma semelhante a uma termoelétrica convencional. O diagrama representado pela figura 5.21 abaixo ilustra o funcionamento da usina. A imagem foi disponibilizada pelo *U.S. Department of Energy* (SEED, 2014).

Figura 5.21 – Diagrama esquemático da usina de vapor direto



Fonte: SEED, 2014.

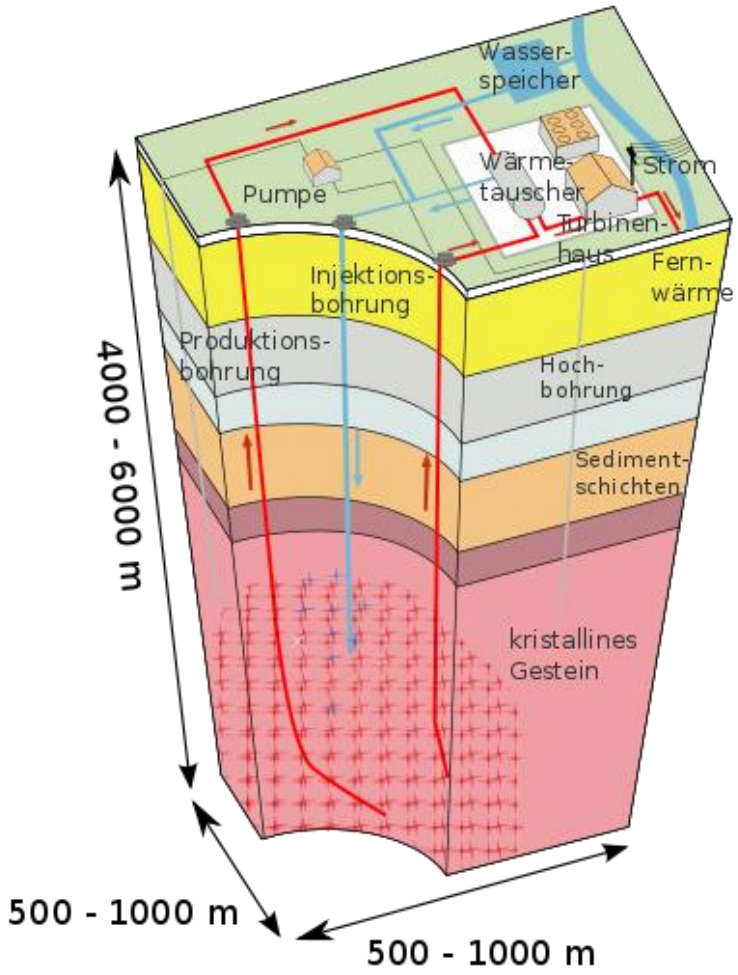
5.4.3 Rochas Secas

A inexistência de gêiseres em algumas regiões possibilitou o desenvolvimento de técnicas que estimulam o aquecimento da água utilizando o calor da Terra a partir de perfurações em rochas secas e instalações de poços artificiais de água que se aquecem e geram um vapor que posteriormente é responsável pela produção de energia (EXPLICATORIUM, 2014).

A primeira experiência ocorreu em Los Alamos, nos Estados unidos, trata-se de um projeto piloto que ainda não é capaz de gerar energia para uso comercial, entretanto abriu a possibilidade de desenvolvimento de instalações com fins comerciais em um futuro próximo (EXPLICATORIUM, 2014).

A figura 5.22 representa o funcionamento de um aproveitamento do calor de rochas para aquecer a água e retornar em forma de produção de energia.

Figura 5.22 – Princípio da Geotérmica de Rochas secas



Fonte: WIKIPEDIA, 2009.

5.4.4 Custos

O aproveitamento geotérmico para a geração de energia elétrica ainda é considerado um processo caro ao ser comparado com outras fontes de energia, devido ao seu custo inicial ser elevado. Em contra partida, como não existe um custo com combustível, esse custo inicial elevado pode ser balanceado, tornando a geração de energia mais barata (EHOW, 2014).

Esses custos iniciais variam de projeto para projeto, mas pode ser adotado um valor médio de US$ 2500,00 por kW instalado. Para uma usina de pequeno porte esse custo seria maior, variando de US$ 3000,00 a US$ 5000,00

por kW. Em compensação, o custo de operação e manutenção é baixo, varia de US$ 0,01 a US$ 0,03 por kWh (EHOW, 2014).

A exploração e recurso de confirmação e a perfuração do poço compõem a principal e decisiva fase de implantação da usina, sendo responsáveis por algo em torno de 35% a 50% do custo inicial. As instalações na superfície da usina geradora possui a menor parte relativa aos custos, cerca de 10% a 20%. Os custos com a usina, geradores e turbinas compõem o restante dos custos, entre 40% e 55% do custo inicial (EHOW, 2014).

Um fator considerável é que o fator de capacidade de uma usina geotérmica é alto, mais que 90%, fazendo com que o aproveitamento da energia disponível seja maior, reduzindo assim o custo para a venda dessa energia (EHOW, 2014).

A figura 5.23 apresentará um quadro com os gastos de instalação, manutenção e custos para produção da energia. As usinas são divididas em dois tipos de tecnologia, convencionais e binárias.

As usinas binárias foram desenvolvidas mais recentemente e são capazes de gerar energia em temperaturas mais baixas (74 a 199 ºC) que as usinas convencionais, como dito anteriormente. Essas usinas representam cerca de 13% da capacidade geotérmica instalada global e o país líder de mercado é os Estados Unidos, seguido pela Nova Zelândia (WORLD ENERGY, 2013).

As usinas convencionais representam cerca de 70% da capacidade geotérmica total mundial. Geograficamente as Filipinas são responsáveis pela maior capacidade instalada da tecnologia, seguida pelo México e Indonésia (WORLD ENERGY, 2013).

Figura 5.23 – Custos de produção de energia Geotérmica

Custos nivelados da tecnologia Geotérmica					
Tecnologia	Região	Gastos de instalação (USDm/ MW)	Gastos de manutenção (USD/ MW/ ano)	Fator de Potencia instalada (%)	Custos de produção de energia (USD/ MWh)
Convencionais	Estados Unidos	1,39-6,00	99553-222335	60-95	60-201
	Indonesia e Filipinas	1,08-4,80	110607-261891	85-90	39-181
Binária	Estados Unidos	2,00-6,07	95687-213701	85-95	89-276

Fonte: WORLD ENERGY, 2013 (adaptado).

5.4.5 Conclusão

A obtenção de energia geotérmica em baixas temperaturas e em altas e ultra altas temperaturas são tecnologias já disponíveis que possuem como produto final calor e eletricidade. Suas vantagens estão relacionadas à reduzida emissão de poluentes e a pequena área necessária para implementar suas centrais.

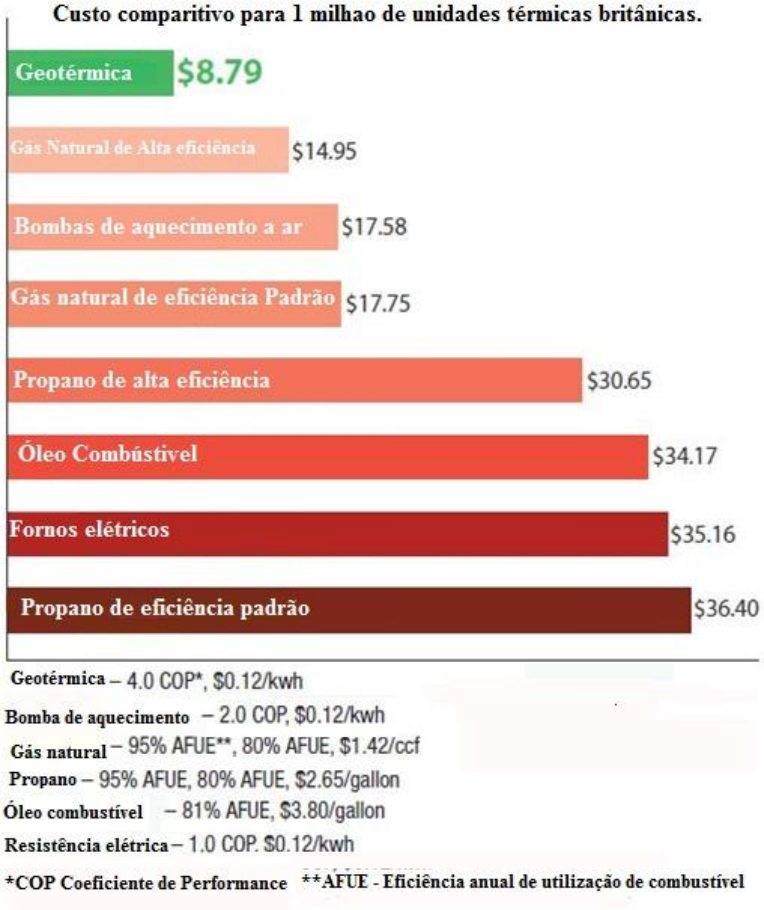
Uma das principais razões que fazem muitos proprietários optarem pela geotérmica é a vantagem de redução dos gastos operacionais. Na maioria das casas, o custo para o aquecimento, arrefecimento e água quente corresponde a cerca de 70% dos custos totais de gastos com serviços públicos. Portanto, a maior oportunidade de economizar uma quantidade substancial em custos de serviços públicos é melhorar esses sistemas. É onde a geotérmica pode ajudar de maneira notável (SHANESHAFFENRIN, 2014).

Em muitos cenários, um sistema geotérmico é significativamente mais barato para operar que os sistemas de aquecimento e refrigeração comuns. Os sistemas geotérmicos podem economizar até 70% nos gastos com aquecimento, até 50% no custos de resfriamento, e cerca de 30-50% nos custos com água quente. Uma maneira de

comparar a eficiência é calcular o custo de 1 milhão de BTUs (unidade térmica britânica) de transferência de calor (SHANESHAFFENRIN, 2014).

Usando uma fórmula padrão, a comparação pode ser feita com base nas taxas de combustíveis locais e na eficiência do equipamento (SHANESHAFFENRIN, 2014). A figura 5.24 mostra uma oportunidade de economia típica de utilização da geotérmica.

Figura 5.24 – Custo comparativo para 1 milhão de unidades térmicas britânicas



Fonte: SHANESHAFFENRIN, 2014.

A maior usina geotérmica em funcionamento no mundo se chama *"The Geysers"* e funciona a partir de vapor retirado diretamente do solo. Ela se localiza em Santa Rosa, Califórnia, nos EUA. A usina tem capacidade instalada de 1517 MW e produz cerca de 950 MW, operando com fator de capacidade de aproximadamente 63% (*THE GEYSERS*, 2014).

Atualmente a energia geotérmica é aproveitada para a geração de energia elétrica em 24 países no mundo e o avanço da tecnologia tem sido considerável nos últimos anos (CONHEÇA ENERGIA GEOTÉRMICA BLOGSPOT, 2013).

No Brasil a tecnologia não tem muita previsão de crescimento, somente o seu uso como fonte de calor poderia ser aproveitada, pois o potencial para altas temperaturas é baixo, o que inviabiliza a geração de energia elétrica (EHOW, 2014).

As previsões da *U.S. Energy Information Administration* sugerem que um barril de petróleo bruto custará R$ 288,88 em 2035, comparado ao valor de R$ 160,42 em 2010. A mesma agência prevê que a produção de 2035 permanecerá perto dos níveis atuais, mas a demanda aumentará de 19 para 22 milhões de barris por dia. Como o combustível fóssil quase dobrou em 25 anos, é uma suposição segura assumir que o valor de outra energia, como a geotérmica, também terá um aumento robusto de valor. Tanto fatores econômicos quanto ambientais fazem da energia geotérmica uma das alternativas mais atraentes para os combustíveis fósseis (EHOW, 2014)

A tecnologia de rochas secas encontra-se em estado desenvolvido de pesquisa e acredita-se que a tecnologia esteja disponível comercialmente em um futuro não muito distante. Isto exigiria um processo de manter a rocha mais porosa, ou seja, quebrada. Uma usina experimental que utiliza rocha quente e seca existe hoje na Inglaterra (INFORMATION FOR ACTION, 2014).

5.5 Energia Oceânica

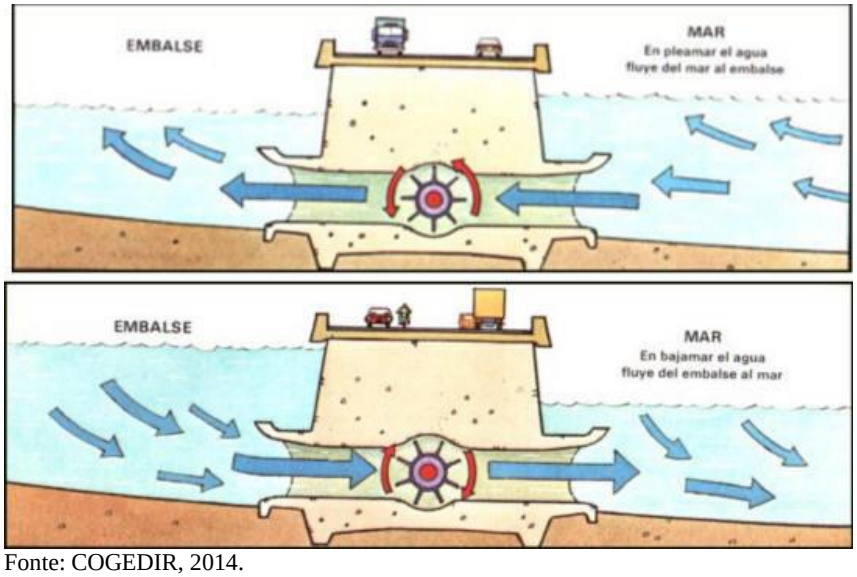
As tecnologias de energias oceânicas, com exceção de barragens de maré, ainda estão em estágio pré-comercial de desenvolvimento, seja na fase de pesquisa e desenvolvimento ou no desenvolvimento de protótipos e estágio de demonstração. A primeira unidade comercial de aproveitamento de energia oceânica entrou em operação em 1966 e consiste em uma usina maré motriz instalada na França. Desde então, apenas algumas outras usinas maré motrizes e algumas unidades de demonstração de energia de ondas foram instaladas no mundo. Em 2009, a capacidade instalada adicional foi menos que 10 MW em todo o mundo, totalizando uma capacidade de aproximadamente 300 MW até o final de 2009 (LEWIS, ESTEFEN *ET AL*., 2011).

Trata-se da obtenção de energia através do movimento das ondas e marés. As tecnologias, desenvolvidas a partir da energia oceânica, podem ser divididas em Energia Maré Motriz, energia das correntes marítimas, energia das ondas, energia térmica e energia osmótica.

5.5.1 Energia Marémotriz

Consiste na construção de barragens no estuário de um rio que o ligam ao mar através de uma passagem abaixo da linha d'água, como pode ser visto na figura 5.25. A passagem da água durante a maré alta preenche uma comporta que quando totalmente cheia é fechada e aguarda a redução da maré para ser novamente aberta. Anteriores à comporta estão localizadas as turbinas que se movimentam com a passagem da corrente de água, tanto durante o enchimento, quanto durante o esvaziamento do reservatório (COGEDIR, 2014).

Figura 5.25 - Barragem de Marés

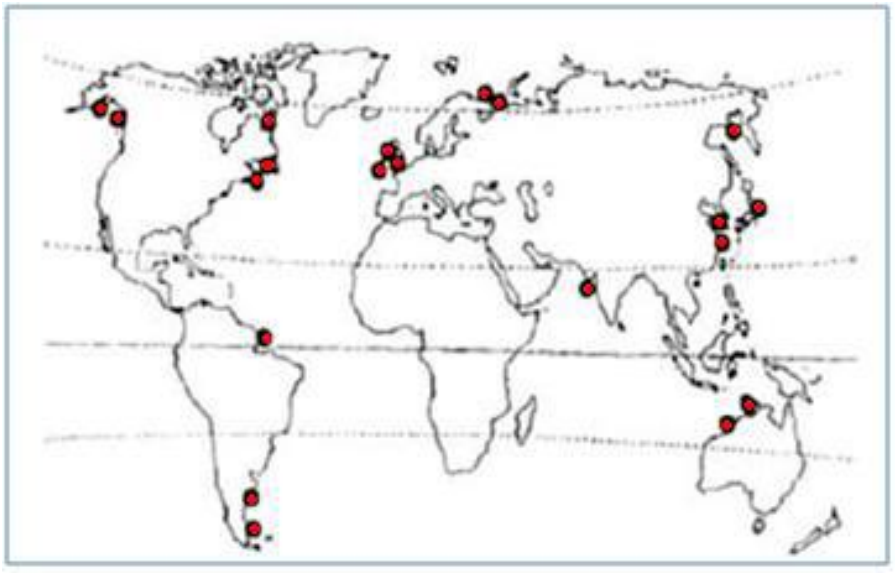


Fonte: COGEDIR, 2014.

Estes sistemas devem situar-se em áreas com correntes rápidas, com fluxos naturais entre pontos rochosos, cabeceiras, entre ilhas, nas entradas de baías de rios ou outras massas terrestres (COGEDIR, 2014).

Trata-se de uma tecnologia de alto custo, e relativamente recente, não existindo ainda uma tecnologia padrão de produção de energia. Existem vários modelos em fase de teste, e esses apresentam possibilidade de utilização em larga escala em curto prazo (HAMMONS, 1993). A figura 5.26 apresenta possíveis locais para geração de energia marémotriz.

Figura 5.26 – Locais possíveis para geração de Marémotriz



Fonte: HAMMONS, 1993

Alguns países como França, Canadá, China e Rússia apresentam usinas marémotrizes já instaladas o que confirma a disponibilidade da tecnologia em escala comercial (COGEDIR, 2014).

A usina mais recentemente desenvolvida encontra-se em Sihwa na Coréia. Com uma capacidade de 254 MW, é a maior usina de energia das marés do mundo (POWER TECHNOLOGY, 2014).

O projeto foi inaugurado em agosto de 2011 com um custo de 355 milhões de dólares e funciona com o auxilio de dez turbinas submersas do tipo bulbo de 25,4 MW e oito portões do tipo eclusa que controla o fluxo de saída de água da barragem. A capacidade de geração anual é de 552,7 GWh (POWER TECHNOLOGY, 2014).

5.5.2 Energia das correntes Marítimas

Podem ser associadas ao sistema eólico de produção de energia. Assim como as usinas eólicas, a energia é gerada a partir da movimentação das pás de uma turbina. O movimento das pás é dado pela movimentação das correntes marítimas. Embora não seja amplamente usada atualmente, a energia das correntes marítimas possui um importante potencial para a futura geração de eletricidade uma vez que as correntes marítimas são mais previsíveis que o vento (COM CIÊNCIA, 2011).

No Brasil, correntes velozes são observadas na foz do rio Amazonas e na baía de São Luís (MA), por exemplo. Segundo o oceanógrafo Eduardo Marone, há registros pontuais de correntes superiores a dois metros por segundo em vários locais do país. Mas pondera que ou esses valores são excepcionas ou os locais onde acontecem poderiam não ser muito apropriados, como canais de navegação (COM CIÊNCIA, 2011).

O problema, porém, ainda é o alto custo dessa energia. Segundo a European Ocean Energy Association, o custo por quilowatt-hora é de 0,10 de euros, mais que o dobro do preço médio (€ 0,04/kWh) da eletricidade na União Europeia. A ideia é usar esse recurso como um complemento a outras fontes limpas, como eólica e solar, por exemplo.

5.5.3 Energia térmica oceânica

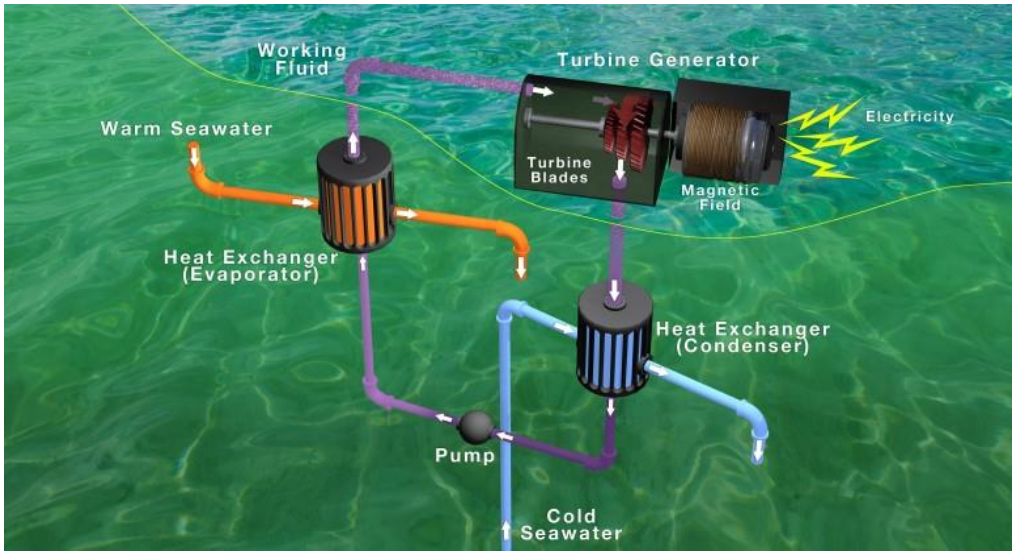
A energia térmica oceânica consiste na geração de energia a partir da diferença de temperatura existente entre a superfície dos oceanos (quente) e a água fria do fundo dos oceanos. Um esquema do funcionamento da usina pode ser visto na figura 5.27.

As técnicas utilizadas para obtenção de energia a partir da diferença de temperatura dos oceanos são (NOTICIAS AMBIENTE BRASIL, 2007):

- Circuito aberto: A energia elétrica é gerada devido à presença de um gerador acoplado a uma turbina que é movida pela evaporação da água em pressões baixas;

- Circuito fechado: O conceito de uma Usina OTEC de ciclo fechado emprega como fluido de trabalho um material com baixo ponto de fusão (por exemplo, a amônia). Este fluido é vaporizado num trocador de calor (evaporador) recebendo calor da água oceânica morna aspirada da superfície do mar (25°C). Este vapor trabalha numa turbina que move um gerador produzindo eletricidade. O vapor da amônia é então condensado noutro trocador de calor (condensador) que é resfriado pela água fria aspirada do fundo do mar (5°C), sendo aí bombeada de volta para o evaporador, num ciclo de Rankine clássico.

Figura 5.27 – Esquema da OTEC em circuito fechado



Fonte: GIZMAG, 2014.

Ainda operando timidamente, por meio de turbinas e um tubo de entrada de grande diâmetro suspenso numa plataforma ancorada no oceano, a fábrica tem capacidade para produzir cerca de 100 kilowatts. Mas com a implantação de uma nova turbina prevista para março de 2014, a potência deverá gradativamente subir para algo em torno de 100 megawatts, um tsunami de energia capaz de suprir toda necessidade da "Ilha do Havaí" ou "Big Island", como também é conhecida (RESPOSTAS SUSTENTÁVEIS, 2014).

Outro projeto ainda em desenvolvimento, é a parceria realizada entre a empresa Lockheed Martin, norte-americana do setor aeroespacial, e a Reignwood Group, conglomerado empresarial com sede em Hong Kong para construir uma usina-piloto OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion), na costa sul da China, com capacidade de entre 10 e 100 MW, para fornecer a energia necessária para um grande resort ecológico, que está sendo desenvolvido pela Reignwood Group (AG SOLVE, 2014).

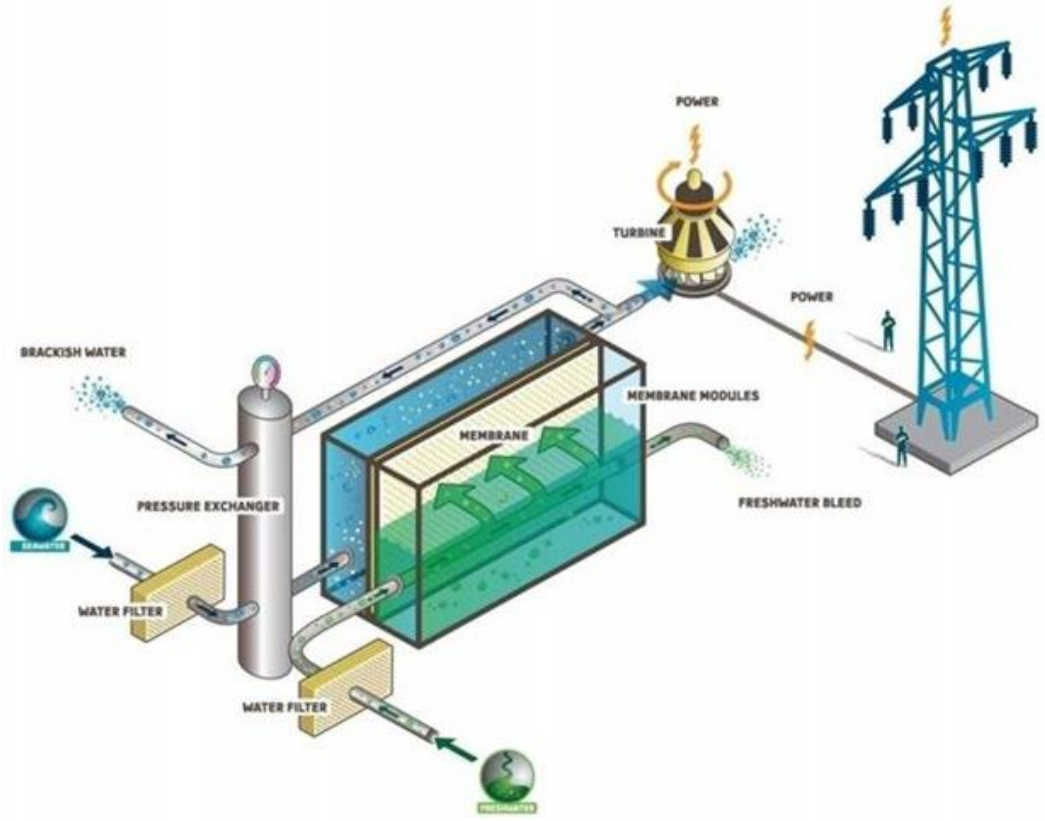
Embora várias usinas-piloto tenham sido construídas para provar que a tecnologia funciona, ela nunca foi colocada em operação comercial. Agora, entretanto, apesar dos altos custos envolvidos, tais como localização e manutenção das instalações no mar e a necessidade de uma tubulação extremamente longa e de calibre largo para que as águas do fundo dos oceanos sejam alcançadas, faz com que várias companhias trabalhem para desenvolver projetos comerciais (AG SOLVE, 2014).

As empresas afirmam que uma usina OTEC de 100 MW poderia produzir, em um ano, a mesma quantidade de energia que 1,3 milhão de barris de petróleo produz e ainda reduzir as emissões de carbono em meio milhão de toneladas. Supondo que o comércio de petróleo nos próximos anos estará cotado em U$ 100 (mais de R$230) por barril, eles estimam que a economia de combustível com uma usina desse tipo excederia US$ 130 milhões por ano (ECYCLE, 2014).

5.5.4 Energia oceânica osmótica

Corresponde à energia obtida a partir da diferença de salinidade do mar. A água do mar é colocada em contato com a água doce dos rios através de uma membrana que permite a passagem de água do meio menos concentrado para o meio mais concentrado (CIMM, 2014). O meio mais concentrado, torna-se diluído e está ligado a uma turbina que gerará eletricidade. Um esquema da obtenção dessa energia é apresentado na figura 5.28.

Figura 5.28 – Esquema da obtenção de energia elétrica, a partir da energia osmótica oceânica



Fonte: CDN 4 SUSTENTATOR, 2010.

O primeiro protótipo de usina osmótica existe na Noruega desde o ano de 2009 e produz uma quantidade pequena de energia de 2 a 4 quilowatts, entretanto prova-se o desenvolvimento avançado da tecnologia sendo necessária a redução dos custos na produção da membrana. Sendo assim pode-se dizer que o principal empecilho enfrentado dessa tecnologia é a melhoria da eficiência das membranas. Acredita-se que uma membrana de cinco milhões de metros quadrados seja capaz de gerar eletricidade para suprir a demanda de trinta mil lares europeus (CIMM, 2014).

5.5.5 Energia Das Ondas

Trata-se do aproveitamento do movimento das ondas para gerar energia elétrica. Existem principalmente dois tipos de tecnologia disponíveis na obtenção de energia (GAMANCIO, 2011):

- A utilização de dispositivos flutuantes ancorados, que ao se movimentarem de acordo com a onda, geram energia.

- A geração por coluna d'água oscilante, que montada em um porto, a água oscilante gera um pressão variável que move uma turbina de contra rotação.

Para além de um conjunto de protótipos em fase de teste, existem em operação há cerca de 10 anos duas centrais de Coluna de Água Oscilante do tipo costeiro em operação na Europa. Uma delas, a Central de Ondas do Pico, está localizada na ilha do Pico, Açores, sendo utilizada para investigação pelo Centro de Energia das Ondas -

Wave Energy Centre. A outra está localizada na ilha de Islay na Escócia, sendo utilizada pela Voith Hydro Wavegen (GAMANCIO, 2011).

Mais recentemente têm sido testados protótipos flutuantes para serem utilizados longe da costa. Em 2004 foi testado um protótipo da AWS na Aguçadoura, Portugal, no mesmo local onde em 2008 seriam testados três dispositivos Pelamis. Grande parte dos testes mais recentes de protótipos de energia das ondas tem ocorrido no European Marine Energy Centre nas ilhas Orkney na Escócia (GAMANCIO, 2011).

A energia obtida pelas ondas é desenvolvida no Brasil desde meados de novembro de 2012, funciona em carater experimental, a Usina de Pecém, no Ceará, nordeste brasileiro (SISTEMAS UNICAMP, 2014).

A figura 5.29 apresenta um pouco da história de desenvolvimento da energia das ondas.

Figura 5.29 – Histórico do desenvolvimento da tecnologia das ondas

1960	Princípios	
	Meados	Bóias Comandante Y. Masuda
	Finais	
1970	Princípios	Propostas Salter para a produção de energia em larga escala
	Meados	Programa Reino Unido (2 GW)
	Finais	
1980	Princípios	Teoria linear no domínio da frequência
	Meados	Primeiras centrais piloto no Japão e na Noruega
	Finais	Modelos lineares no domínio do tempo de WEC's
1990	Princípios	Análise linear no domínio da frequência de conjuntos de WEC's
	Meados	Modelos "Wave-to-Wire" de WEC's
	Finais	Análise hidrodinâmica não linear de WEC's
2000	Princípios	Testes no mar de diversas centrais piloto
	Meados	Demonstração da tecnologia
	Finais	Demonstração da viabilidade económica da tecnologia

Nota: WEC's : Wave Energy Converters (dispositivos de extracção de energia das ondas)

Fonte: APAMBIENTE, 2004

Dentre as energias dos oceanos, o aproveitamento de energia das ondas é aquele que apresenta um dos maiores números de dispositivos em desenvolvimento, e alguns destes dispositivos já estão ou passaram por testes em protótipo de tamanho real no mar, mas ainda em fase pré-comercial (PPE UFRJ, 2012).

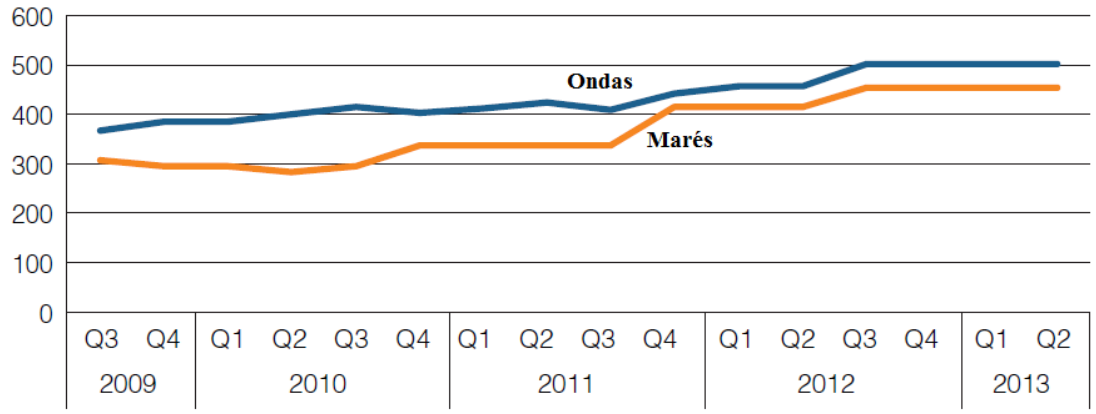
Somente em 2011 foi entregue a primeira planta comercial de energia de ondas. Trata-se de uma unidade de coluna de água oscilante da empresa Voith Hydro Wavegen que foi vendida para a Ente Vasco de la Energía – Basque Energy Board em um contrato de 1 milhão de libras e projetado para uma vida útil de 25 anos (WAVEGEN, 2012). A unidade possui 300 kW de potência distribuídos em 16 turbinas Wells e foi instalada em um quebra-mar no porto de Mutriku (WAVEGEN, 2009).

5.5.6 Custos

O Potencial teórico global e regional de energia de ondas (em GW) excluindo as áreas com potencial menor do que 5 kW/m e as regiões cobertas por gelo está em torno de 3 TW (PPE UFRJ, 2012).

A figura 5.30 apresenta o desenvolvimento dos custos de produção da energia oceânica ao longo dos anos. Dividida em obtenção de energia pelas ondas e pelas marés. Ao longo dos últimos anos, o custo de produção dos dois tipos de eletricidade aumentou, já que os desenvolvedores e fabricantes aprenderam os verdadeiros custos da tecnologia de projetos de demonstração em locais de teste na Europa e em outros lugares (WORLD ENERGY, 2013).

Figura 5.30 – Custo da produção de energia elétrica a partir do oceano ao longo dos anos. Média de mercado



Fonte: WORLD ENERGY, 2013 (adaptado).

O UK Carbon Trust tem produzido uma quantidade significativa de pesquisas sobre essas tecnologias oceânicas como parte de um programa loca, que estima que o oceano poderia alimentar 20% da eletricidade do Reino Unido. No dia 27 de junho foi anunciado um contrato de diferença nas tarifas de alimentação de USD 450 / MWh para projetos que envolvessem a produção de energia inferiores a 30 MW. A fim de comparação, essa mesma tarifa para a energia eólica onshore é menos que um terço do valor, USD 148 / MWh (WORLD ENERGY, 2013).

O Reino Unido não é o único que recebe o apoio do governo nesse setor. A Austrália, Japão e Coreia estão atualmente oferecendo subsídios ou iniciativas de desenvolvimento da tecnologia. Além disso, a China tem uma meta política de 50 MW gerados pelo oceano até 2015 (WORLD ENERGY, 2013).

Como a quantidade de implantação é limitada, essas tecnologias são consideradas pré–comercializáveis, há um limitado escopo para análise global de seu desenvolvimento (WORLD ENERGY, 2013).

A figura 5.31 apresentará um quadro comparativo dos custos de instalação, manutenção e produção da energia a partir da tecnologia das barragens de marés (preço de comercialização).

Figura 5.31 – Custo de produção de energia Oceânica obtida pelas marés

Custos nivelados da tecnologia das marés				
Tecnologia	Gastos de instalação (USDm/ MW)	Gastos de manutenção (USD/ MW/ ano)	Fator de Potencia instalada (%)	Custos de produção de energia (USD/ MWh)
Alto custo	16,05	~130000	25	1049
Médio custo	9,28	~130000	35	451
Baixo custo	6,73	~130000	45	263

Fonte: WORLD ENERGY, 2013 (adaptado).

Enquanto a figura 5.32 apresenta o mesmo quadro para o caso da produção de eletricidade partindo da energia aproveitada pelas ondas.

Recentemente a indústria de onda tem enfrentado um período tumultuado marcado por questões sobre a viabilidade de muitos projetos e pontuada por notícias negativas como o fim da empresa irlandesa Wavebob e a retirada de uma grande de um projeto alemão da "Pelamis Wave Power" (WORLD ENERGY, 2013).

Figura 5.32 – Custos da produção de energia elétrica partindo das ondas

Custos nivelados da tecnologia das ondas				
Tecnologia	Gastos de instalação (USDm/ MW)	Gastos de manutenção (USD/ MW/ ano)	Fator de Potencia instalada (%)	Custos de produção de energia (USD/ MWh)
Alto custo	16,05	150000	25	1058
Médio custo	8,78	150000	30	496
Baixo custo	5,48	150000	35	284

FONTE: WORLD ENERGY, 2013 (adaptado.)

5.5.7 Conclusão

Como ainda não há uma grande viabilidade da maioria das tecnologias desenvolvidas e aproveitamento da energia gerada pelo oceano, não há um mercado desenvolvido para ela.

A única tecnologia utilizada em escala comercial é a de barragens de energia marémotriz. O custo de produção deste tipo de energia é mais interessante que a energia elétrica gerada por uma usina nuclear ou térmica: 18 centavos de € (Euro) contra 20 (COGEDIR). Entretanto ainda espera-se uma redução no valor de instalação e um aumento no valor comerciável de energia para que se possa inserir a energia oceânica no mercado energético.

Num futuro próximo, o aproveitamento da energia das marés e das correntes marítimas poderia atender a 20% do total da energia elétrica consumida no mundo (DICYT, 2014).

A energia das marés e das ondas produzidos pela central No Inner Sound e a central de marés da Escócia tem potencial para abastecer um quinto do consumo elétrico do Reino Unido (WIKIENERGIA, 2014).

Já no Brasil, segundo o oceanógrafo Eduardo Marone, o maior potencial de geração de energia elétrica a partir dos oceanos está relacionado ao aproveitamento da energia das marés (como em São Luís), seguido das ondas e das plantas Otec (conversão de energia térmica oceânica, na sigla em inglês), que usam o gradiente vertical de densidade (temperatura e salinidade) para gerar eletricidade (SISTEMAS UNICAMP, 2012).

Entretanto observa-se que a utilização desse tipo de instalação (planta marémotriz) não tem crescido, principalmente devido aos seus elevados custos e impactos ambientais. O investimento financeiro é muito próximo de uma usina hidrelétrica, porém não conta com o mesmo aproveitamento da capacidade instalada, visto que a energia das marés não está disponível todo o tempo. (SISTEMAS UNICAMP, 2012).

A existência da tecnologia oceânica osmótica não implica numa possível utilização em escala comercial, visto que os custos aplicados na construção de uma membrana capaz de gerar quantidades significativas de energia são extremamente elevados.

Já o aproveitamento da energia das ondas, ainda pode ser considerado recente e ainda em fase de desenvolvimento. Os sistemas para retirar energia das ondas são muito pequenos e apenas suficientes para iluminar uma casa ou algumas boias de aviso por vezes colocadas no mar. (PORTAL ENERGIA, 2014).

Com base nos documentos estudados, conclui-se que a energia oceânica das ondas trata-se de uma tecnologia já disponível para uso, com alguns empecilhos econômicos, no que diz respeito ao aproveitamento energético gerado pelas ondas.

Contextualizando o Brasil nessa fonte de energia (ondas), temos que desde meados de novembro de 2012, funciona em caráter experimental, a Usina de Pecém, no Ceará, nordeste brasileiro, sendo a única usina desse tipo na América Latina. Funcionando com a força das ondas do mar. Utiliza tecnologia brasileira em desenvolvimento.

A Agência Internacional de Energia acredita que este tipo de fonte de energia deverá ter considerável representatividade no mix da matriz energética mundial até 2030 (SISTEMA UNICAMP, 2012).

5.6 Energia Hidráulica

Corresponde a energia gerada a partir da energia cinética e gravitacional dos rios, lagos ou quedas d'água. A energia hidráulica é considerada uma fonte limpa e renovável de energia visto que não gera gases que prejudiquem o meio ambiente durante sua produção de eletricidade. Podem ser divididas em energia cinética das correntes e energia potencial gravitacional.

As principais variáveis utilizadas na classificação de uma usina hidrelétrica são: altura da queda d'água, vazão, capacidade ou potência instalada, tipo de turbina empregada, localização, tipo de barragem e reservatório. Todos são fatores interdependentes. Assim, a altura da queda d'água e a vazão dependem do local de construção e determinarão qual será a capacidade instalada - que, por sua vez, determina o tipo de turbina, barragem e reservatório (CERPCH, 2014).

5.6.1 Energia Cinética das Correntes

Trata-se de uma tecnologia já consolidada em que há a conversão da energia cinética proveniente do movimento das águas em energia elétrica ou energia mecânica, por meio de geradores no caso da energia elétrica (ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS: UMA VISÃO CEMIG, 2012).

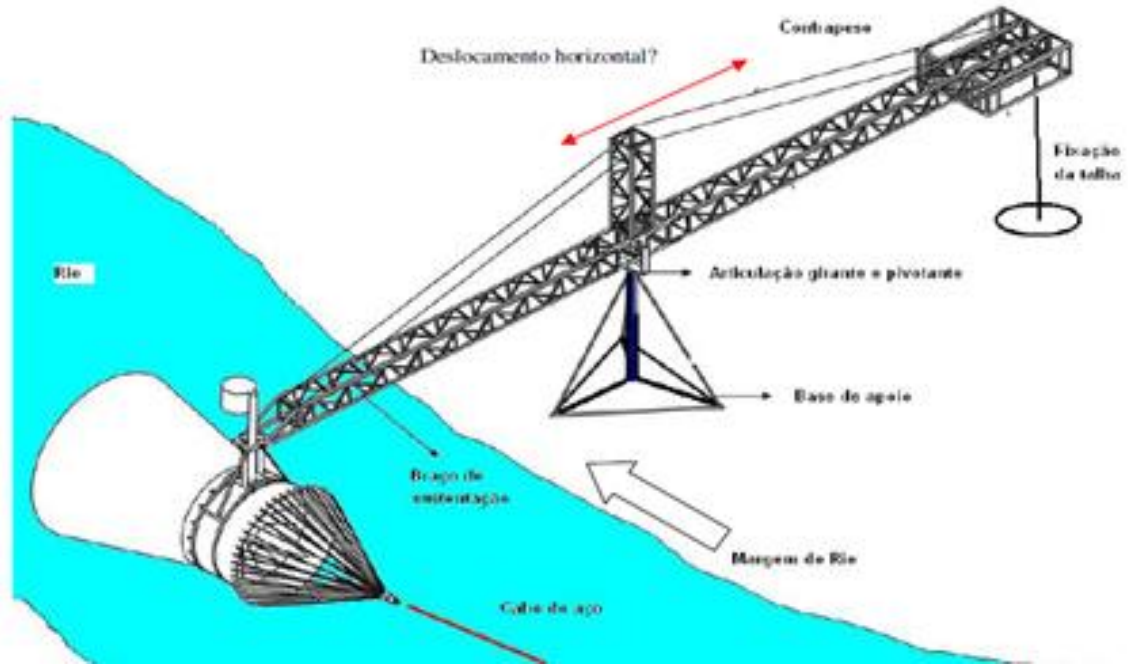
Podem ser divididas em: rodas d'água (conversão de energia cinética em mecânica), carneiros hidráulicos (através da diferença de pressão no interior da bomba ocorre o bombeamento da água), turbinas hidrocinéticas (utiliza a corrente da água para produzir eletricidade), bomba de cordas, e monjolos (água utilizada no movimento de uma haste, responsável pela moagem dos grãos)

5.6.1.1 Turbinas hidrocinéticas

As turbinas hidrocinéticas são turbinas desenvolvidas para gerar energia elétrica através da vazão do rio sem necessidade da construção de barragens ou de condutos forçados. São compostas apenas por um grupo de geradores instalados no leito do rio (MARTINS, A. M, 2013). A figura 5.33 esquematiza o funcionamento da Turbina Hidrocinética (THC), sendo o sentido do escoamento do rio apresentado pela seta branca.

Ela requer uma velocidade acima de 1,5 m/s (5,4 km/h) e uma profundidade mínima de 1m. Nessas condições, é possível obter 400 kWh por mês. Em melhores condições, pode-se atingir uma produção de energia da ordem de 3000 kWh por mês, equivalente ao consumo médio de 4 apartamentos de 3 quartos, em um bairro de classe média (MARTINS, A. M, 2013).

Figura 5.33 – Esquematização do funcionamento da Turbina Hidrocinética (THC), sendo o sentido do escoamento do rio apresentado pela seta branca



Fonte: ELS, 2008.

Existem várias empresas tais como a INVAP, Iguaçu Energia, Hidrocinética Energia LTDA e outras, que produzem protótipos da turbina que em seguida serão testadas em fluxos de água livre. Atualmente a potência gerada por essas turbinas é a menor dentro da gama de turbinas produzidas em escala comercial. Sendo assim trata-se de uma tecnologia ainda em desenvolvimento, pois sua potência não apresenta significativos valores para contribuição de geração de energia em larga escala (MARTINS, A. M, 2013).

5.6.1.2 Rodas d'água

Trata-se da geração de eletricidade e movimento através da energia hidráulica de uma máquina que gira através do contato com a água.

Nestas máquinas, a água atua pelo efeito do peso e da velocidade.

Existem três sistemas de acionamento de roda d'água que são mais usados e os mesmos são apresentados na figura 5.34 em ordem de descrição (FEG UNESP, 2014).

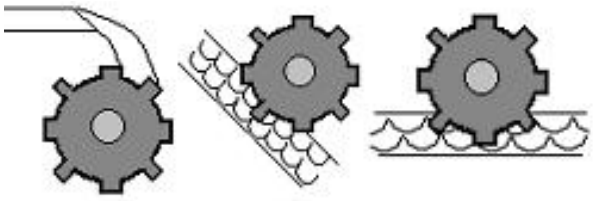
- Água caindo sobre a roda – Neste caso, a água é levada até a roda através de um tubo. Este tipo de instalação é o preferido e o mais eficiente (FEG UNESP, 2014);

- Água conduzida em canaleta, passando sob a roda – É usado quando a queda d'água for insuficiente para acionar a roda por cima. Neste caso, a roda é instalada dentro de uma canaleta (FEG UNESP, 2014);

- Conjunto bomba-roda sobre flutuadores – Trata-se de um conjunto flutuante projetado especialmente para ser usado em correnteza de rio ou ribeirão. É usado quando o terreno não dispõe de queda para

acionamento normal nem desnível para acionamento através de roda com pás planas em canaleta (FEG UNESP, 2014).

Figura 5.34 – Sistema de acionamento da roda d'água



Fonte: FEG UNESP, 2014.

Trata-se de uma energia renovável com capacidade de produção em torno de 350 W a 30 kW ao ser ligada à um rotor de imãs permanentes. A vantagem da utilização de rodas d'água para geração de energia está no suprimento do uso de um carregador de baterias que mantem carga na saída, visto que a máquina está sempre girando (FEG UNESP, 2014).

Atualização do mapa, além da produção de movimento, há também a geração de energia elétrica.

5.6.1.3 Carneiro Hidráulico

Utiliza as diferenças de pressão para que ocorra o bombeamento da água. O carneiro hidráulico aproveita a energia gerada pelo fluxo da água, para elevar a coluna do líquido. Apresenta um rendimento pequeno comparado a outros equipamentos, entretanto o custo de instalação é baixo e o de operação é praticamente nulo. A partir do momento de instalação, o carneiro pode funcionar de forma ininterrupta desde que haja volume suficiente de água corrente (CERPCH, 2014). A figura 5.35 apresenta um carneiro hidráulico.

Sua principal aplicação está relacionada à irrigação na agricultura, e tem como seu uso final a geração de movimento (CERPCH, 2014).

Figura 5.35 – Carneiro Hidráulico

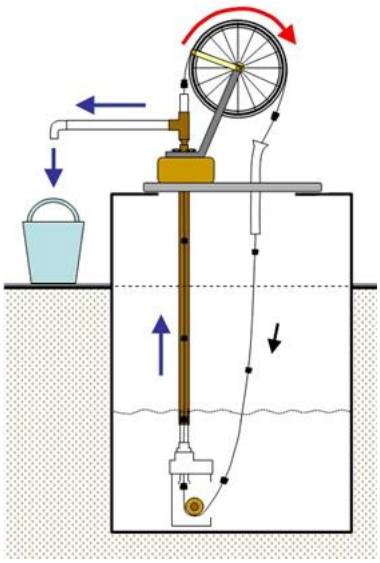
Fonte: CERPCH, 2014.

5.6.1.4 Bomba de Cordas

Trata-se de um equipamento acionado pela água e pela força de arraste para possível retirada de água de poços. Atualmente seu uso é restringido e é muito difícil ser observada uma aplicação real.

A bomba de cordas facilita bastante a retirada de água de um poço quando comparada ao balde suspenso e o guincho manual, visto que pode ser acionada por outras máquinas como rodas d'água e cata-ventos. A figura 5.36 representa o esquema de funcionamento de uma bomba de cordas.

Figura 5.36 – Funcionamento da bomba de cordas



Fonte: SEMPRE SUSTENTÁVEL, 2014.

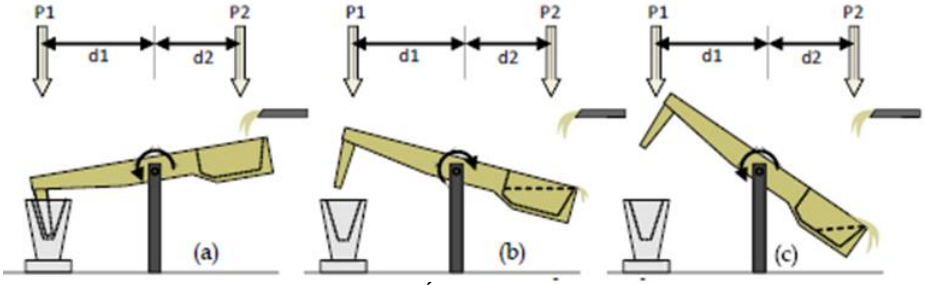
5.6.1.5 Monjolo

É uma máquina utilizada principalmente para moagem de grãos e sementes com características similares ao pilão. É um equipamento simples de se construir e pode ser feito com um tronco de madeira.

O local de aplicação deve possuir uma altura de queda suficiente para que haja a instalação de uma calha que irá captar e desviar parte da corrente de água para um reservatório.

Quando ocorre o preenchimento do reservatório, o peso da água vence o peso do tronco, o que provoca o levantamento da outra extremidade. Parte da água é jogada fora, e como o tronco torna-se mais pesado que a água ele retorna a posição inicial com força suficiente para moagem dos grãos dentro do pilão (CERPCH). Trata-se da utilização da água para gerar movimento. A figura 5.37 mostra o funcionamento de um monjolo.

Figura 5.37 – Funcionamento de um Monjolo



Fonte: CARTILHAS ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2007.

5.6.2 Energia Potencial Gravitacional – Turbinas Hidráulicas

A partir do aperfeiçoamento das máquinas hidráulicas utilizadas desde a antiguidade, surgiram as turbinas hidráulicas que atualmente se adequa as mais variadas condições de vazão e altura de queda e operam com rendimentos elevados. Sendo hoje uma das fontes de energia mais utilizadas (ANNEL, 2014).

Levando em consideração o desnível existente em um curso d'água ou um desnível criado através de barragens, as centrais hidrelétricas captam a água do ponto mais alto e flui por tubulações que as fazem passar por turbinas hidráulicas convertendo a energia hidráulica em energia mecânica (ANEEL, 2014).

A rotação de um eixo é então convertida pelos geradores em energia elétrica que alimenta as indústrias, residências, comércios e áreas rurais (ANEEL, 2014).

5.6.3 Custos

A figura 5.38 apresenta uma divisão no custo de produção de energia que possui como fonte as hidrelétricas. A classificação foi feita levando em consideração a quantidade de MW produzidos. As pequenas hidrelétricas correspondem àquelas cuja geração é inferior a 10 MW enquanto as grandes hidrelétricas correspondem a valores superiores a 10 MW (WORLD ENERGY, 2013).

Devido ao seu bom estado de desenvolvimento e relativa simplicidade da tecnologia, o investimento pode ser muito atraente quando se tem um local apropriado. Os custos de produção de hidrelétricas são geralmente competitivos mesmo sem o apoio financeiro, especialmente para as grandes hidrelétricas em locais específicos. Mas a grande barreira para seu desenvolvimento está relacionada aos custos elevados de construção e instalação (WORLD ENERGY, 2013).

Outras barreiras para o investimento na tecnologia estão relacionadas aos baixos fluxos sazonais de rios e resistência ao alagamento de grandes áreas de terra produtiva (WORLD ENERGY, 2013).

Figura 5.38 – Custo nivelado da produção de energia hidráulica

Custos nivelados da Energia Hidráulica				
Classificação	Gastos de instalação (USDm/ MW)	Gastos de manutenção (USD/ MW/ ano)	Fator de Potencia instalada (%)	Custos de produção de energia (USD/ MWh)
Pequenas hidrelétircas	1,40-3,68	150002-85000	23-80	19-314
Grandes hidrelétricas	1,59-4,15	20000-62000	20-75	24-302
Nota: Valores referentes ao ano de 2012				

Fonte: WORLD ENERGY, 2013 (adaptado).

5.6.4 Conclusão

Apesar de se tratar de uma fonte renovável de energia, a energia hidráulica representa uma parcela significativa da matriz energética mundial e possui tecnologias de aproveitamento consolidadas (ANEEL, 2014).

A turbina hidrelétrica é uma dessas tecnologias já desenvolvida e corresponde a 17% de toda a energia gerada no mundo. No Brasil, segundo o balanço energético de 2014 (BEN, 2014), a energia hidráulica corresponde atualmente a 12,5% de toda a produção energética.

A geração por pequenas centrais hidrelétricas (PCH) encontra-se em desenvolvimento no Brasil e em outros países do mundo. Devido à alta competitividade da tecnologia há uma queda constante nos custos.

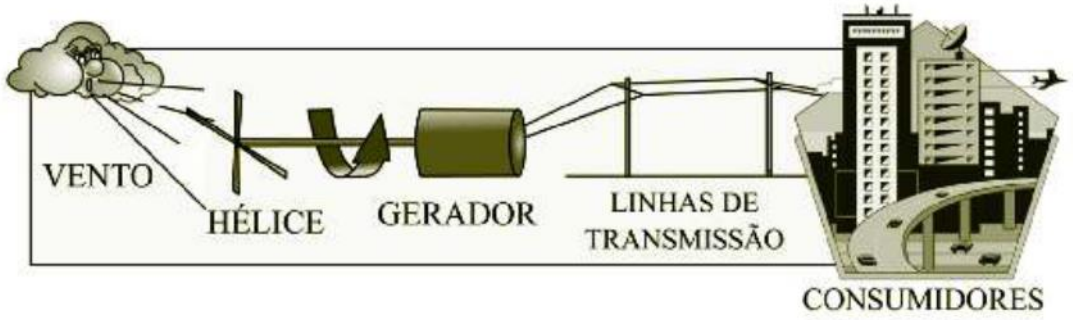
Entretanto, estudos estão sendo desenvolvidos para que haja um maior aproveitamento da correnteza das águas sem que seja necessária a construção de barragens e desmatamento de áreas para instalação de usinas. Essa nova tecnologia é chamada de turbina hidrocinética e ainda é uma tecnologia em desenvolvimento, pois sua potência não apresenta significativos valores para contribuição de geração de energia em larga escala (UNCU, 2014).

5.7 Energia Eólica

A utilização da energia proveniente dos ventos é usada desde os tempos de navegação antes do nascimento de Cristo. O aproveitamento da força dos ventos era exclusivamente mecânico, conversão da força dos ventos em movimento para as embarcações (CERPCH, eólica, 2007).

Desde a década de 1930 a energia eólica passou a ser utilizada, em larga escala, como auxiliar na produção de eletricidade. Mas somente na década de 1980 o aproveitamento eólio-elétrico atingiu uma contribuição significativa em termos econômicos e de geração (CERPCH, eólica, 2007). A figura 5.39 apresenta de maneira simplificada o funcionamento de uma usina eólica.

Figura 5.39 – Funcionamento de uma usina eólica



Fonte: CERPCH, 2007.

Existem, atualmente, mais de 35.000 turbinas eólicas de grande porte em operação no mundo, com capacidade instalada da ordem de 13.500 MW (CERPCH, eólica, 2007).

Há algumas especificações necessárias para que a energia eólica seja tecnicamente aproveitável, são elas: densidade maior ou igual a 500W/m², uma altura mínima de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s (OLIVEIRA, 2006).

Essas características, segundo a Organização Mundial de Meteorologia, estão presentes em apenas 13% da superfície terrestre, e dentro dessa porcentagem, 32% está na Europa ocidental (JORNAL DA ENERGIA, 2014).

Apesar de existirem empresas que exploram a tecnologia no Brasil, ainda não há fabricantes especializados na construção de turbinas eólicas. No primeiro semestre de 2014, foram adicionados ao Sistema Interligado Nacional (SIN) 1226,8 MW de energia eólica, o que equivale a 35,2% do total acrescentado ao sistema considerando outras fontes de energia (JORNAL DA ENERGIA, 2014).

A geração da energia eólica pode ser divido em offshore, onshore e pequeno porte.

5.7.1 Offshore

São turbinas eólicas instaladas no mar próximas à costa que aproveitam o fato do vento nestas regiões ser mais intenso e consistente apresentando menor turbulência. São divididas em:

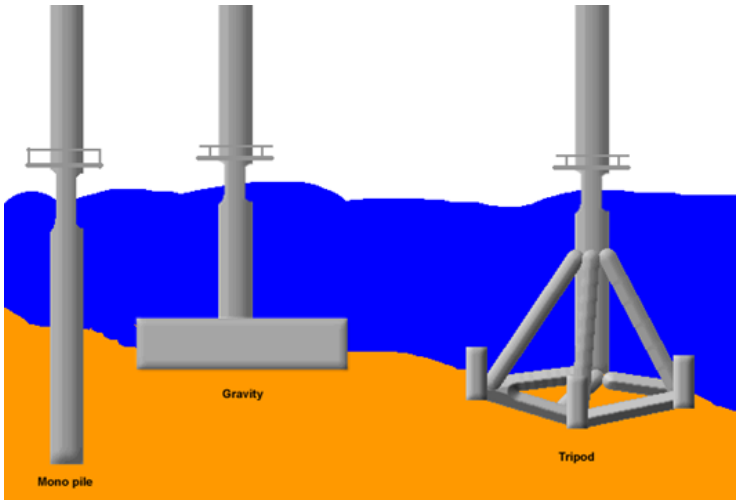
- Mono Pilar: consiste em um tubo de aço que é alicerçada entre 10-20 m de profundidade no fundo do mar;

- Fundação por Gravidade: atualmente, é o mais usado em projetos de energia eólica offshore, consiste em uma grande base construída a partir de concreto ou de aço, que repousa no fundo do mar. A turbina é dependente da gravidade para permanecer ereta;

- Fundação Tripé: Designers tendem a confiar na tecnologia utilizada pela indústria de petróleo e gás. As estacas em cada extremidade são tipicamente dirigidas 32-64 pés no fundo do mar, dependendo das condições do solo. Esta tecnologia é geralmente usada em grandes profundidades e não tem sido utilizado em muitos projetos até agora (MEDEIROS, V.,2014).

A figura 5.40 ilustra os tipos de fundações existentes.

Figura 5.40 – Fundações eólicas offshore



Fonte: MEDEIROS, V., 2014.

Estima-se que o custo do kWh offshore já esteja por volta de 0.05 $ em 2017. Esses custos, em alguns casos, podem ser menores do que o de algumas formas tradicionais de geração de energia elétrica, como o carvão e as hidroelétricas (SOLENERG, 2007).

Portanto, o custo do kWh da captação offshore quando comparado com outras formas de geração de energia elétrica, mostra-se competitivo.

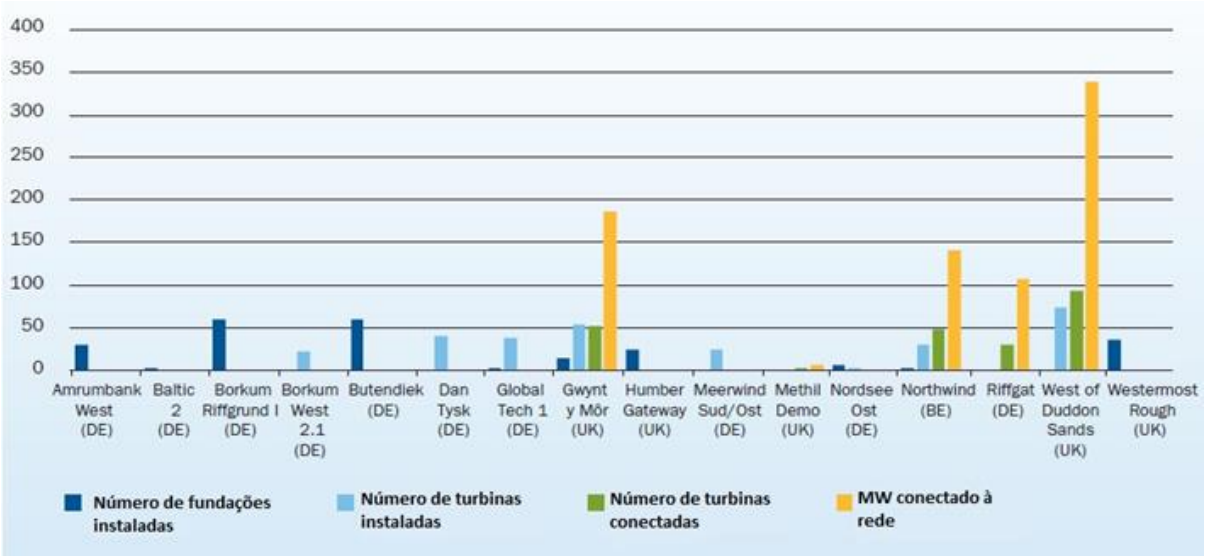
A maioria dos parques eólicos em alto mar fica na Europa. Segundo o Relatório Mundial de Energia Eólica, a capacidade de produção instalada offshore chegou a 7,4 gigawatts (GW) em 2013, sendo que 6,9 GW do total estão concentrados na Europa e os outros 0,4 GW, na China. Metade da capacidade instalada mundial está no Reino Unido (3,7 GW), seguido pela Dinamarca, com 1,3 GW, e Alemanha, com 0,9 GW.

Em comparação com a energia eólica onshore, ou seja, produzida em terra firme, a offshore ainda está dando seus primeiros passos. Até o fim de 2013, a capacidade instalada dos parques eólicos onshore era de 312 GW no mundo, enquanto no mar era de apenas 7 GW (DW, .

No entanto, o setor offshore está otimista. Já que em 2013 a energia produzida em alto mar correspondia a 5% do total da energia eólica produzida no mundo, nos pioneiros Reino Unido, Dinamarca e Alemanha, a parcela já chegava a 28%. (TERRA, 2014).O desenvolvimento da tecnologia de parques eólicos offshore é o principal foco da Europa devido à falta de espaço para a instalação de usinas.

A partir de dados apresentados pela EWEA observa-se que a tecnologia offshore já apresenta uma consolidação quanto ao seu desenvolvimento e é utilizada em muitos países na Europa. Apesar de ter tido uma queda da produção quando comparada ao mesmo período do ano de 2013, a energia eólica offshore vem ganhando espaço no mundo da energia. A figura 5.41 apresenta a atual situação da tecnologia offshore dos principais parques eólicos no primeiro semestre de 2014.

Figura 5.41 – Capacidade das instalações *offshore* (MW) - 2013



Fonte: EWEA, 2013 (adaptado).

Dados atuais a respeito da indústria eólica offshore Europeia em 2014 segundo a APREN (Associação de energias renováveis).

- 16 parques de energia eólica offshore estão em construção, totalizando 4,9 GW de capacidade de energia;

- 224 novas turbinas eólicas offshore, totalizando 781 megawatts (MW), foram totalmente conectadas à rede na Europa durante os primeiros seis meses de 2014 - 25% menos do que no mesmo período em 2013 (1.045 MW);

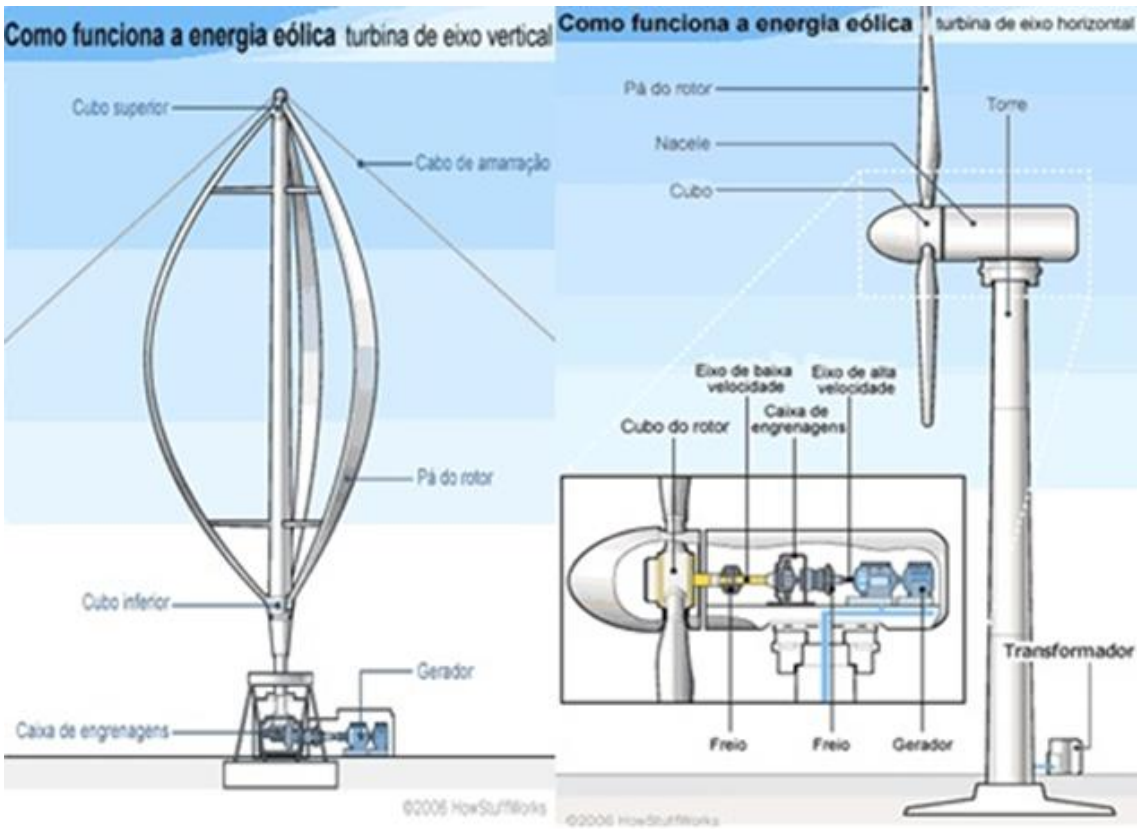
- 282 turbinas eólicas foram instaladas, mas não conectadas durante este período, perfazendo um total de 310 turbinas no mar à espera de ligação à rede. Uma vez conectado elas vão acrescentar mais 1.200 MW de capacidade de energia eólica offshore.

5.7.2 Onshore

Trata-se de um sistema localizado em terra firme em geral em zonas costeiras, que possuem geradores com um imã central que gira com uma velocidade sincronizada com a rotação do campo magnético com dois polos (norte e sul). É uma tecnologia desenvolvida comercialmente. E os países líderes desta tecnologia são Dinamarca, Espanha e Alemanha (CENTRO DE ENERGÍA RENOVABLE, 2014).

A partir da análise do mapa percebe-se uma divisão da tecnologia on shore (vertical e horizontal). Que consiste na posição em que o eixo se encontra. A figura 5.42 ilustra as turbinas vertical e horizontal e apresenta seu funcionamento.

Figura 5.42 – Funcionamento das turbinas verticais e horizontais (AMBIENTE, 2014)



FONTE: FIEC, 2011.

Ambas as tecnologias já se apresentam desenvolvidas, entretanto, a tecnologia de geração elétrica vertical apresenta uma eficiência inferior à tecnologia horizontal. A figura 5.43 apresenta uma pequena relação das características das turbinas.

Figura 5.43 – Quadro comparativo entre as turbinas verticais e horizontais

EIXO VERTICAL	EIXO HORIZONTAL
VANTAGENS	**VANTAGENS**
Captam o vento de todas as direções sem necessitar de um sistema de direção	Velocidade de arranque mais baixa que nas turbinas de eixo vertical
Não sofrem efeito de turbulência, podendo ser instalados próximo de edifícios ou do solo, reduzindo os custos da torre de suporte e facilitando a sua manutenção.	Custos de produção mais baixos
Sistema com menos elementos de desgaste, só têm um eixo a rodar.	
Mais silenciosas	
DESVANTAGENS	**DESVANTAGENS**
Velocidades de arranque mais elevadas relativamente às turbinas de eixo horizontal	Necessidade de afastar de obstáculos para evitar efeitos de turbulência
Custo de fabrico mais elevado	Mecânica mais elaborada, com mais peças móveis, necessidade de maior manutenção.

Fonte: FIEC, 2011 (adaptada).

As turbinas eólicas de eixo horizontal podem ser fabricadas com diferentes números de pás no seu rotor.

- Uma pá rodando no espaço que já foi ocupado por outra corta um ar perturbado e desta forma, reduz a velocidade do rotor.
- Um maior número de pás aumenta o torque sobre o eixo do rotor;
- Quanto menor for o número de pás, mais rápido o rotor gira;
- A geração elétrica exige alta velocidade e baixo torque, requerendo turbinas com poucas pás;
- O bombeamento de água e os moinhos requerem grande torque e baixa velocidade, assim são usadas turbinas com várias pás (MEDEIROS, V., 2014).

5.7.3 Pequeno Porte

Nessa categoria encontram-se as máquinas utilizadas desde a antiguidade que convertem a energia dos ventos em energia mecânica na moagem de grãos e no bombeamento de águas. São consideradas turbinas de eixo horizontal. Atualmente existem máquinas utilizadas em fazendas e propriedades rurais que além de utilizar pequenos moinhos e turbinas para movimento, geram também pequena quantidade de energia elétrica para consumo próprio.

No caso do bombeamento de água, as máquinas são dispositivos unicamente mecânicos, em que o rotor, geralmente do tipo multipás, é acoplado a um eixo de manivelas (girabrequim) horizontal que transforma o movimen-

to rotativo em um movimento linear, o qual por meio de uma longa haste metálica vertical aciona uma bomba d'água submersa do tipo piston.

No caso de bombeamento de água de poços, o equipamento é colocado acima do poço. Este tipo de máquina é muito comum no interior do Brasil, sendo também bastante utilizado nas salinas localizadas em alguns pontos do litoral (RJ e RN). Estas máquinas são denominadas popularmente no Brasil de cata-ventos.

5.7.4 Custos

As figuras 5.44 e 5.45 apresentam os custos relacionados a produção de energia eólica. A primeira corresponde a energia eólica onshore e a segunda a energia eólica offshore.

No Brasil, o complexo eólico União dos Ventos (170 MW), o maior parque totalmente voltado para o mercado livre, começou a operar no início do mês fevereiro de 2014, no Rio Grande do Norte, entregando energia a cerca de R$ 180 MW/h, com contratos assinados em 2009. O empreendimento é exemplo de projeto considerado atrativo quando comparado aos negociados nos últimos leilões regulados (WORLD ENERGY, 2013).

Se no último Leilão A-5, realizado em dezembro, o preço teto para a fonte foi de R$ 122/MWh, o mercado avalia que essa energia possa ser vendida atualmente por cerca de R$ 140/MWh a R$ 150/MWh no mercado livre, em contratos entre cinco e sete anos (WORLD ENERGY, 2013).

Figura 5.44 – Custos de produção de energia eólica onshore

Custos nivelados da tecnologia Eólica onshore por país				
	Gastos de instalação (USDm/ MW)	Gastos de manutenção (USD/ MW/ ano)	Fator de Potência instalada (%)	Custos de produção de energia (USD/ MWh)
Alemanha	1,36-1,46	19000-21500	24-27	79-82
Brasil	1,08 - 1,25	24000	23-45	55-99
China	1,36-1,37	17000-25138	19-35	49-93
Estados unidos	1,83	24000-24400	20-46	61-136
Europa	1,61-1,94	23000-28750	20-36	71-117
Nota: Valores referentes ao ano de 2012				

Fonte: WORLD ENERGY, 2013 (adaptado).

Figura 5.45 – Custos de produção Eólica offshore

Custos nivelados da tecnologia Eólica offshore				
	Gastos de instalação (USDm/ MW)	Gastos de manutenção (USD/ MW/ ano)	Fator de Potência instalada (%)	Custos de produção de energia (USD/ MWh)
Europa	4,29-6,08	100000-160000	32-42	147-367
Nota: Valores referentes ao ano de 2012				

Fonte: WORLD ENERGY, 2013 (adaptado).

Estima-se que o custo do kWh offshore já esteja por volta de 0.05 $ em 2017. Portanto, o custo do kWh da captação offshore quando comparado com outras formas de geração de energia elétrica, mostra-se competitivo.

5.7.5 Conclusão

Atualmente, empresas, como a Alstom, desenvolveram aerogeradores para utilização offshore com potência de 6MW , o que fornece soluções para todas as condições geográficas e climáticas.

A implementação do novo aerogerador G132-5.0 (offshore) está prevista para o ano de 2017 na Bahia na região de Pedra Cheirosa. Ele possui um peso reduzido o que diminui o custo dos parques eólicos durante sua construção.

Trata-se de uma tecnologia comprovada e testada segundo a empresa. Além disso, como dito anteriormente, alguns países já utilizam a tecnologia eólica offshore, o que implica numa atualização do mapa, apresentando a energia eólica de grande porte offshore como uma tecnologia já disponível.

A produção de energia eólica em regime offshore promete ser uma das fontes de crescimento mais rápido de energia renovável nos próximos anos (PORTAL ENERGIA, 2014).

A tecnologia On shore como já apresentado no mapa feito em 2012, já é desenvolvida e consolidada.

As eólicas de pequeno porte são consideradas tecnologias desenvolvidas e consolidadas desde os anos 200 a.C. (CRESESB, 2014).

A capacitação tecnológica da indústria nacional e o custo decrescente da eletricidade de origem eólica, quando associados ao enorme potencial eólico nacional (143,5 GW segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro), indica que essa forma de geração poderá ocupar, em médio prazo, um importante papel no país, principalmente atuando como fonte descentralizada e complementar de energia acoplada a rede elétrica.

Estima-se que em 2020 o mundo terá 12% da energia gerada pelo vento, com uma capacidade instalada de mais de 1.200 GW (CERPCH, 2007)

5.8 Petróleo

Os reservatórios de petróleo podem ser divididos em convencionais e não convencionais.

Reservatórios não convencionais de petróleo são o óleo de xisto (do inglês shale oil, proveniente do xisto betuminoso) e o óleo retido nos poros de diferentes rochas, tais como arenito (do inglês tight oil). Enquanto que as reservas mundiais de óleo convencional extraído em áreas continentais ou de águas oceânicas (baixa e média profundida¬des) estão quase que totalmente localizadas no Oriente Médio, Líbia, Golfo do México e Rússia, as reservas mundiais de óleo de xisto e tight oil estão bem distribuídas em várias regiões, com os principais produtores sendo Rússia, Estados Unidos, China, Argentina e Líbia. Por sua vez, as reservas de óleo em águas profundas e ultra profundas do Pré-Sal estão sendo principalmente concentradas no Brasil, mas são também encontradas no Cazaquistão, Angola e Gabão (SCIELO, 2013).

O Brasil se tornará um dos grandes exportadores de petróleo e um líder mundial da produção de energia. Devido principalmente a uma série de recentes descobertas offshore, a produção de petróleo do Brasil triplicará, atingindo 6 mb/dia em 2035, ou seja, um terço do crescimento líquido da produção mundial de petróleo, fazendo do Brasil o sexto produtor mundial (IEA, 2013).

5.8.1 Petróleo Não Convencional

O petróleo não convencional é encontrado em rochas de menor porosidade e sua extração ocorre por meio do desenvolvimento das tecnologias de estimulação de poços por meio do fraturamento.

O tipo mais comum de produção do petróleo não convencional é o tight oil. Sua extração utiliza a tecnologia conhecida como fraturamento hidráulico, atualmente regulada pela ANP apesar de enfrentar problemas de fortes impactos ambientais. O procedimento consiste na injeção de grandes volumes de água sob forte pressão, produtos químicos, areias e até granito para que os poros das rochas que contém o gás ou o petróleo sejam “abertos”, permitindo sua extração (GLOBO, 2014).

No Brasil, ainda não se conhecem reservas de gás ou óleo não convencionais. Mas, pelos estudos geológicos realizados pela ANP, acredita-se que existam importantes reservas desse tipo de hidrocarbonetos nas bacias terrestres do Recôncavo, na Bahia, Sergipe-Alagoas, e a bacia do São Francisco (em Minas Gerais), entre outras (GLOBO, 2014).

O país detentor do maior desenvolvimento das reservas não convencionais são os Estados Unidos, entretanto, o tight oil existe praticamente em todo o lugar. Países como Canadá, Alemanha, Polônia, Reino Unido, França, China e Índia devem agora lidar com a atividade de exploração do petróleo não convencional (BAPTISTA, 2013).

Segundo a L. O. Baptista Advogados, "O desenvolvimento tecnológico em fraturamento hidráulico/Perfuração horizontal certamente representa um dos maiores avanços da indústria nas últimas décadas, mas traz consigo riscos potencialmente significativos. O que se pode esperar dos governos, não apenas no Brasil como também em outros países, é a criação de novos instrumentos regulatórios que busquem estabelecer um equilíbrio entre os benefícios e riscos de tais atividades e que permita a evolução da tecnologia dentro de limites aceitáveis e controláveis."

Estudo divulgado nesta semana pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que traça projeções para o ano de 2050, sugere que o petróleo do tipo Brent enfrentará o chamado 'ciclo de baixa' até o fim desta década. A cotação do barril poderá se aproximar de US$ 80 no período, pressionado principalmente pela maturação de projetos de Exploração e Produção (E&P) de recursos não convencionais e pelo pico de produção do shale e do tight oil norte-americano (OTEMPO –ENERGIA, 2014).

5.8.2 Petróleo Convencional

Trata-se do petróleo de retirada convencional do fundo dos poços. Seu refino é realizado pela destilação fracionada do petróleo de acordo com a densidade do produto, que está associada a quantidade de carbonos em sua estrutura (quanto maior o número de carbonos, mais denso) (MUNDO EDUCAÇÃO, 2014). A figura 5.46 apresenta um quadro dos subprodutos do petróleo, relacionando a quantidade de carbonos da estrutura e a temperatura de ebulição.

Figura 5.46 – Subprodutos do petróleo

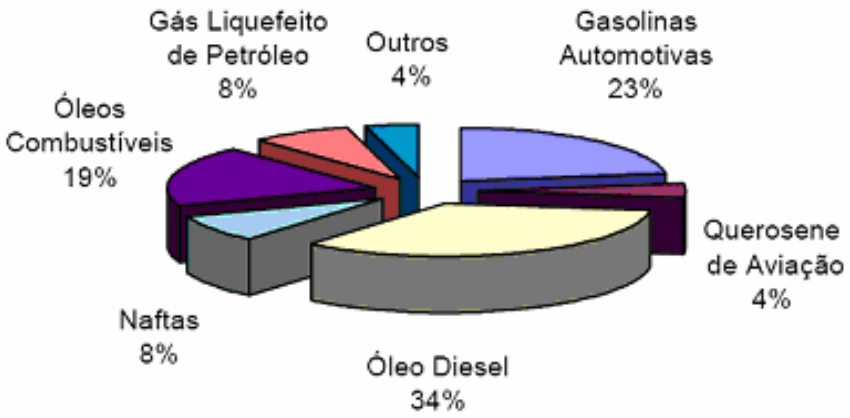
Ponto de ebulição em ºC	Quantidade de Carbonos	Produto	Utilização
20 ºC	1 a 4	Gás	Dá origem ao gás de cozinha.
120 ºC	5 a 10	Gasolina	Usada como combustível de motores automotivos.
170ºC	10 a 16	Querosene	Combustível próprio para aviões.
270ºC	14 a 20	Diesel	É o combustível de ônibus, caminhões e tratores.
340ºC	20 a 50	Lubrificante	Aplicado em máquinas e peças para aumentar a vida útil
500ºC	20 a 70	Óleo	Também chamado de óleo combustível, é o responsável pela movimentação de navios.
600ºC	Acima de 70	Asfalto	É o último produto a ser fracionado, e apresenta aspecto denso. Utilização como pavimentação asfáltica.

Fonte: Autora, 2014.

A partir do refino do petróleo obtém-se, pelo processo inicial de destilação atmosférica, entre outras, as frações denominadas de óleo diesel leve e pesadas. A elas podem ser agregadas outras frações como a nafta, o querosene, a gasolina e o gasóleo leve de vácuo, conforme apresentado na figura 5.47. A incorporação destas frações e

de outras obtidas por outros processos de refinação, dependerá da demanda global de derivados de petróleo pelo mercado consumidor (TRANSPOL, 2014).

Figura 5.47 – Produção de derivados nas refinarias do Brasil



Fonte: TECNICO DE PETROLEO, 2014.

5.8.2.1 Gás (GLP)

O gás liquefeito de petróleo (GLP), também conhecido como gás de cozinha, consiste na mistura gasosa de hidrocarboneto obtido do gás natural das reservas do subsolo, ou do processo de refino do petróleo cru nas refinarias (COPAGAZ, 2014).

O GLP é acondicionado dentro de cilindros em estado líquido. O cilindro quando cheio contém em seu interior 85% de GLP em estado líquido e 15% em estado de vapor. O GLP em estado líquido começa a se transformar em vapor à medida que os aparelhos a gás são utilizados (COPAGAZ, 2014).

Uma característica marcante do GLP é não possuir cor nem cheiro próprio. No entanto, por motivo de segurança, uma substância do grupo Mercaptan[1] é adicionada ao GLP ainda nas refinarias. Ela produz o cheiro característico quando há um vazamento de gás. O GLP não é uma substância tóxica, porém se inalado em grande quantidade, produz efeito anestésico (COPAGAZ, 2014).

5.8.2.2 Gasolina

A gasolina é uma mistura de hidrocarbonetos (octanos), líquidos, inflamáveis e voláteis obtidos após a destilação do petróleo cru. Tradicionalmente, é empregado como combustível nos motores de explosão interna com ignição à faísca convencional ou por compressão e também como solvente (QUE CONCEITO, 2014).

A gasolina é obtida a partir do petróleo, em um recinto especial conhecido como refinaria; uma planta industrial que se ocupa do refino do petróleo a partir de um procedimento especial que permitirá obter diversos combustíveis fósseis a serem utilizados em motores de combustão como: a gasolina, o gasóleo, o diesel entre outros (QUE CONCEITO, 2014).

Normalmente, a gasolina é obtida a partir da nafta de destilação direta, que se trata da fração líquida mais ligeira que há no petróleo, com exceção dos gases. A indicação mais característica é a do índice de octano; ele nos indica a pressão e a temperatura na qual poderá ser submetido um combustível carburado, ou misturado com ar, antes de chegar à combustão ao atingir a temperatura de autoignição. As gasolinas comerciais encontram-se classificadas em função de seu número de octanos (QUE CONCEITO, 2014).

5.8.2.3 Querosene

Esta categoria é composta por um complexo de substâncias (hidrocarbonetos-alifáticos, naftênicos e aromáticos) derivadas de petróleo obtidas por meio da destilação fracionada do petróleo, que possuem ponto de ebulição entre (150 a 290 °C) e cadeia carbônica variando entre 9 e 16. (BR, 2014).

Sua utilização é indispensável em aeronaves de propulsão a jato, sendo também comumente utilizado como combustível de aquecimento. O calor de combustão do querosene é semelhante ao do diesel (INFOESCOLA, 2014).

O produto possui diversas características específicas como uma ampla curva de destilação, conferindo a este um excelente poder de solvência e uma taxa de evaporação lenta, além de um ponto de inflamação que oferece relativa segurança ao manuseamento. É insolúvel em água (WIKIPEDIA, 2014).

Seu emprego como um combustível para cozinhar é restrito a apenas alguns fogões portáteis para camping e também para aparelhos vendidos em países menos desenvolvidos, onde geralmente é menos refinado e contém impurezas e até mesmo presença de resíduos (INFOESCOLA, 2014).

Às vezes é usado como uma fonte de calor durante as falhas de energia, sendo vendido em alguns países em postos de abastecimento. O uso de aquecedores de querosene portáteis não é recomendado para áreas internas fechadas, sem chaminé, devido ao perigo de acumulação do monóxido de carbono presente na composição do gás (INFOESCOLA, 2014).

Historicamente, o querosene foi o primeiro derivado do petróleo de valor comercial, substituindo o azeite e o óleo de baleia na iluminação. Os usos mais comuns do querosene são para iluminação, solvente e como combustível para aviões. Pesquisas em andamento vem desenvolvendo um combustível alternativo, derivado da biomassa, denominado bioquerosene (CGEE, 2010).

Os principais biocombustíveis com potencial para substituir a querosene de origem fóssil são essencialmente obtidos a partir de óleos vegetais e matérias açucaradas que posteriormente passam por processos de produção para a obtenção de bioquerosene (CGEE, 2010).

Para que determinada matéria-prima seja apta para a produção de bioqueresene deve apresentar algumas características, tais como: não ameaçar a biodiversidade, não interferir nos ecossistemas naturais e ser produzida de forma que o solo e a água não sejam sobrecarregados, não necessitar de grandes quantidades de insumos agrícolas, proporcionar redução de emissão e conteúdo energético maior ou igual comparados ao combustível tradicional, não concorrer com o setor de alimentos, agregar valor socioeconômico as comunidades locais, ser cultivado em terras não utilizadas para a produção de alimentos e terras marginais (ICAO, 2010; SWAFEA, 2011).

Oleaginosas como soja, colza e palma também podem ser utilizadas como matéria-prima para a produção de bioquerosene, porém, outras fontes têm sido propostas se adequando as características citadas anteriormente como: pinhão manso, camelina, babaçu e algas, sendo que estas possuem composição significativa em termos de óleos graxos (CGEE, 2010).

5.8.2.4 Diesel

Trata-se de um combustível constituído basicamente por hidrocarbonetos, é um composto formado, principalmente, por átomos de carbono, hidrogênio e em baixas concentrações por enxofre, nitrogênio e oxigênios selecionados de acordo com as características de ignição e de escoamento adequadas ao funcionamento dos motores diesel. É um produto inflamável, medianamente tóxico, volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico (BR, 2014).

O óleo diesel é utilizado em motores de combustão interna e ignição por compressão (motores do ciclo diesel) empregados nas mais diversas aplicações, tais como: automóveis, furgões, ônibus, caminhões, pequenas embarcações marítimas, máquinas de grande porte, locomotivas, navios e aplicações estacionárias (geradores elétricos, por exemplo) (BR, 2014).

Para a utilização do óleo diesel em motores a combustão é necessária a purificação do mesmo para que as pequenas quantidades de substâncias indesejáveis como a água, ceras, cinzas, enxofre e outros sedimentos presentes no óleo, que não decantam completamente durante a estocagem / decantação nos tanques, sejam removidos antes da injeção no motor (RINBER, 2014).

O óleo diesel pode ser purificado, com a remoção de 99,95% da água e partículas até 1 μ(mícron), com a utilização de uma separadora centrífuga (considerando passagem de produto pela máquina). Os discos do rotor da separadora centrífuga removem os contaminantes (água, ceras e outros contaminantes sólidos tais como cinzas, sujeiras, ferrugem, areia, etc.) do diesel, de forma imediata na passagem, estendendo a vida útil dos filtros, com consequente diminuição no custo de reposição, além da efetiva proteção do motor (RINBER, 2014).

O óleo combustível purificado, livre dos contaminantes, assegura também uma operação econômica, eficiente e confiável do motor diesel e atualmente trata-se de uma tecnologia aplicável nas refinarias (RINBER, 2014).

O atual modelo energético brasileiro é apoiado entre outros pontos, no transporte de cargas em motores diesel, por via rodoviária, em detrimento do transporte ferroviário, fluvial ou cabotagem. Isso faz com que o óleo diesel seja o derivado propulsor do refino em nosso país. A quantidade produzida e a incorporação de frações para alterar a qualidade do óleo diesel variam de acordo com o mercado consumidor (BR, 2014).

Para atender o suprimento do mercado nacional de derivados, com qualidade requerida e com custos competitivos, a Petrobras opera suas refinarias priorizando a produção de diesel (BR, 2014).

5.8.2.5 Óleo Combustível

É chamado também de óleo combustível pesado ou ainda óleo combustível residual, e corresponde à fração residual da destilação das frações mais leves de petróleo, como a gasolina, a nafta, o querosene e o óleo diesel. Esses são obtidos em várias etapas e processos do refino (TECNICO DE PETROLEO, 2014).

A sua composição bastante complexa depende não só do petróleo que o originou, como também dos processos e misturas (composições) que sofreram nas refinarias, de modo que se pode atender várias exigências do mercado consumidor numa ampla faixa de viscosidade, adequada às suas aplicações (fornos, caldeiras, motores pesados, etc) (TECNICO DE PETROLEO, 2014).

Sua composição predominantemente é de cadeias longas de hidrocarbonetos, particularmente alcanos, cicloalcanos e aromáticos. Possui entre estes compostos de carbono e hidrogênio, derivados que contêm enxofre, nitrogênio, oxigênio e pequenas quantidades de derivados compostos de metais como sódio, ferro, níquel, vanádio (os quais conferem uma certa corrosividade), entre outros (BIOMS, 2014).

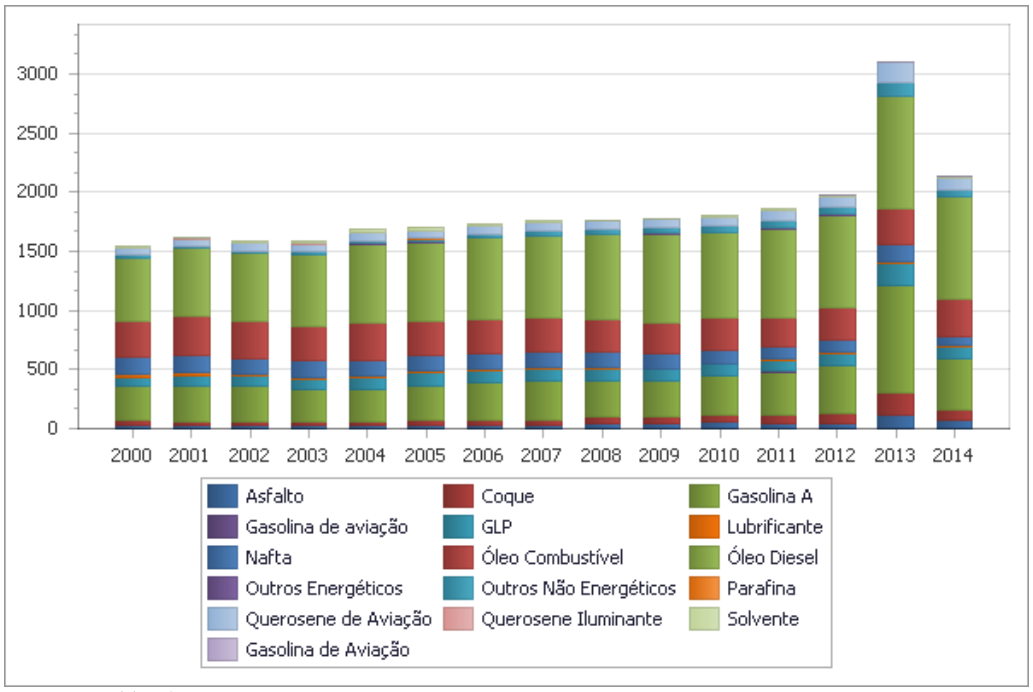
O óleo combustível sempre deve ter um tratamento posterior à destilação fracionada para remoção de alguns destes contaminantes e para reduzir sua tendência à corrosão (BIOMS, 2014).

5.8.3 Custos

As unidades de coqueamento transformam resíduos pesados do em refino em outros produtos de maior valor agregado. Cerca de 70% da carga processada nestas unidades é convertida em diesel, nafta e GLP e 30% em coque de petróleo, de valor comercial maior do que o resíduo de origem (BRASIL, 2014).

A figura 5.48 indica a produção de derivados em barris de óleo equivalente por dia, dos principais derivados de petróleo ao longo dos anos.

Figura 5.48 – Produção de derivados de petróleo (boe/d)

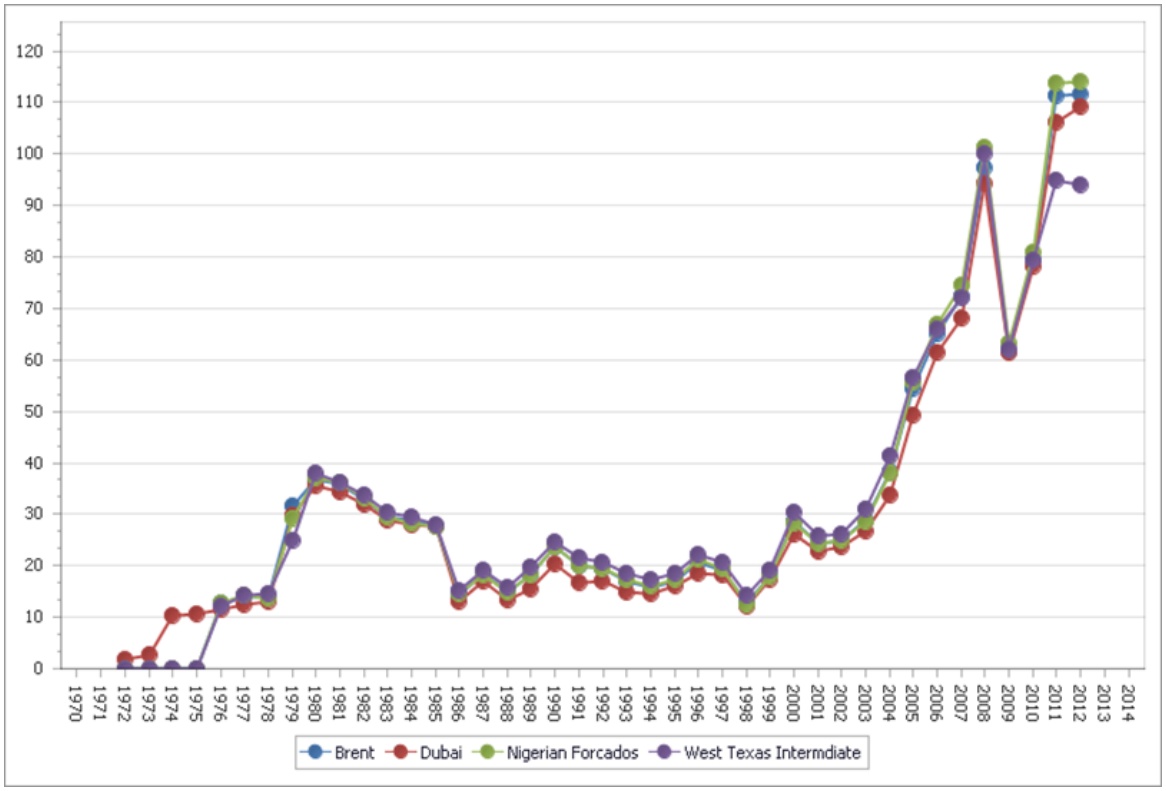


Fonte: IBP (a), 2014

Hoje, as refinarias da Petrobras contam com nove UCRs (Unidades de Craqueamento de Resíduo) com capacidade total de 42 mil m3/dia de conversão de resíduos, capazes de produzir em torno de 20 mil m3/dia de diesel (125.800 bpd), 5 mil m3/dia de gasolina (31.450 bpd), 3 mil ton/dia de gás liquefeito de petróleo (GLP) e 13 mil ton/dia de coque de petróleo (sólido) (BRASIL, 2014).

A figura 5.49 apresenta a série histórica do preço do barril de petróleo do dia 7 de janeiro de 2000 ao dia 18 de abril de 2014. Os valores apresentados no eixo y correspondem ao preço em dólar por barril de petróleo.

Figura 49 – Preço médio do barril de petróleo no mercado internacional



Fonte: IBP (b), 2014.

De maneira sintetizada, a figura 5.50 apresenta um quadro com o preço dos principais combustíveis oferecidos ao consumidor.

Figura 5.50 – Preço dos combustíveis derivado do petróleo

Petróleo 23/11/2014 - 29/11/2014		
Combustível	**Preço Distribuidora**	**Preço ao consumidor por litro**
Gasolina (R$/L)	R$ 2,60	R$ 2,90
Diesel	R$ 2,29	R$ 2,60
Querosene de aviação	R$ 1,69	R$ 1,87
GNV (R$/m³)	R$ 1,43	R$ 1,91
GLP (R$/13kg)	R$ 31,51	R$ 44,66
Etanol (R$/L)	R$ 1,69	R$ 2,03

Fonte: ANP, 2014; AEROMAGAZINE, 2014.

5.8.4 Conclusão

A necessidade de compensar o declínio da produção dos campos de petróleo existentes é o que motiva principalmente os investimentos petrolíferos a montante até 2035. A análise realizada com base em mais de 1 600 campos confirma que, após o pico de produção de um campo médio convencional, espera-se uma queda de produção anual de aproximadamente 6% por ano. Embora este valor possa variar em função do tipo de campo de petróleo, a produção de petróleo bruto convencional a partir dos campos existentes deverá decrescer mais de 40 mb/dia em 2035. Entre as outras fontes de petróleo, a maior parte das fontes não convencionais depende muito

da perfuração contínua, de modo a evitar uma queda rápida dos níveis do campo. Dos 790 bilhões de barris de produção total necessária para satisfazer o nível da demanda segundo as nossas estimativas para 2035, mais da metade serve apenas para compensar o declínio da produção.

A figura 5.51 apresenta um quadro resumo a respeito da projeção do petróleo para 2050.

Figura 5.51 – Projeções do Petróleo para 2050

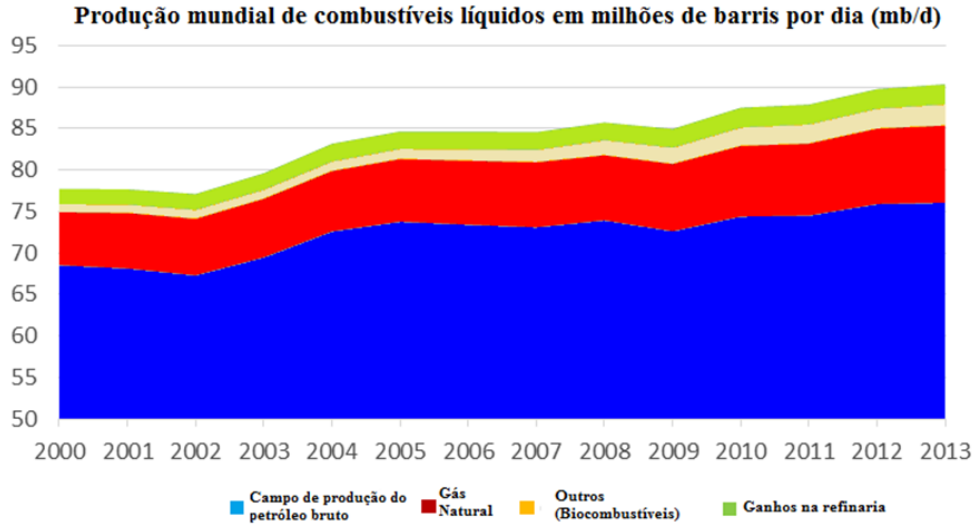
PROJEÇÕES DO PETRÓLEO DIVULGADAS PELA EPE PARA 2050		
2014-2020	2020-2040	2040-2050
>Ciclo de baixa de preços. >Redução da participação do papel do petróleo como ativo financeiro especulativo. >Melhores expectativas com relação a outras opções financeiras.	>Maior elevação da eficiência energética e substituição do petróleo por outras fontes. >Diminuição dos investimentos em Exportação e Produção em virtude da depleção dos recursos no shale e tight oil dos Estados Unidos. >Aumento relativo da capacidade de controle da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep) sobre a produção mundial de petróleo.	>Moderada elevação nos preços do petróleo. >Embora permaneça a perspectiva de maior eficiência energética e de substituição por outras fontes, as dificuldades de acesso levam a custos crescentes em Exportação e Produção.

Fonte: O autor.

A figura 5.52 apresentará um gráfico semiquantitativo referente à produção mundial de combustíveis líquidos em milhões de barris por dia (2000-2013).

A região azul corresponde à produção de petróleo bruto, incluindo a condensação; a região vermelha corresponde ao gás natural líquido obtido por plantas; a região verde corresponde ao ganho de processamento da refinaria e a área amarela corresponde a outros líquidos, principalmente os biocombustíveis (ECONBROWSER, 2014).

Figura 5.52 – Produção Mundial De Combustíveis Líquidos Em Milhões De Barris Por Dia



Fonte: ECONBROWSER, 2014.

5.9 Gás Natural

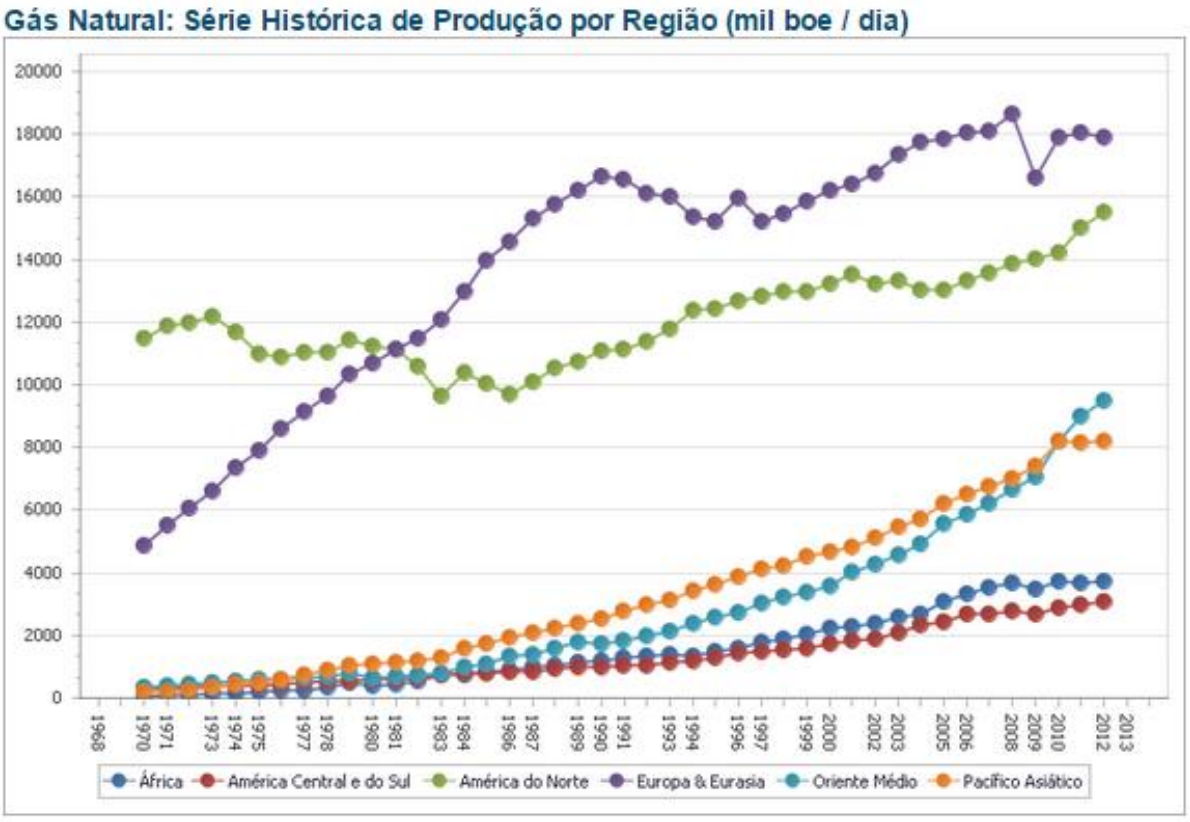
A principal fonte de energia alternativa ao petróleo é o gás natural, que pode inclusive substituir a gasolina em motores a combustão, desde que feitas pequenas adaptações, conforme o exemplo verificado em diversos estados no Brasil. Além disso, existe a possibilidade de se produzir, a partir dele, gasolina, diesel e nafta pela tecnologia *gas-to-liquids* (GTL) (PPE, 2014).

Trata-se de uma importante fonte de energia para prover eletricidade e calor, além de ser utilizado como combustível em automóveis e como matéria-prima na indústria química (ABRACE, 2014).

É um dos energéticos mais importantes do mundo, atrás apenas do petróleo e do carvão.

A figura 5.53 apresenta a quantidade de barris de óleo equivalente de gás natural, por dia, produzido por continente do ano de 1968 ao dia 31 de julho de 2013, quando foi feita a última atualização (IBP, 2013).

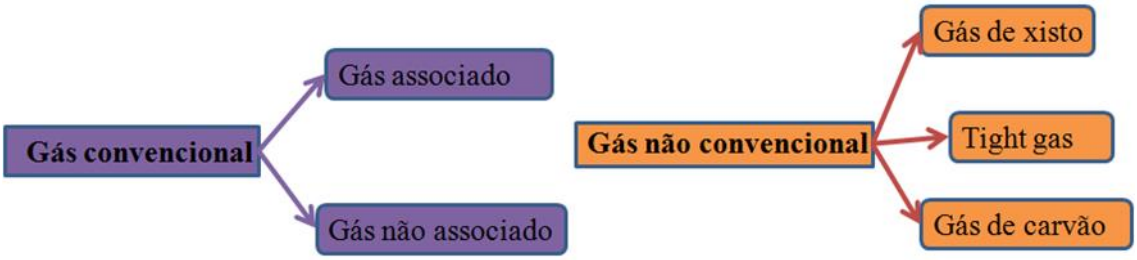
Figura 5.53 – Gás Natural - Série Histórica de Produção por Região Brasileira (mil boe/ dia)



Fonte: IBP (a), 2013.

Existem reservatórios de gás natural convencional e não convencional. O esquema da figura 54 resume os principais tipos de gás natural.

Figura 5.54 – Tipos de Gás Natural



Fonte: Autora, 2014.

5.9.1 Gás natural convencional

Os reservatórios convencionais são de fácil e de direta extração, pois as moléculas de metano estão retidas nos poros de minerais permeáveis. Desde o início da exploração de gás natural, iniciado a cerca de 100 anos, o gás natural convencional tem sido o único foco da indústria de petróleo e gás (SCIELO, 2013).

5.9.2 Gás natural não convencional

O gás natural de fontes não convencionais trata-se do metano que fica preso ou retido nos poros de diferentes formações geológicas que, devido à impermea¬bilidade destas, não são facilmente extraídos. Fontes de gás natural não convencional são o gás de xisto (do inglês shale gas, proveniente do mineral xisto), clatratos (moléculas de metano presas em clusters formados por moléculas de água, sob alta pressão, presos em camadas profundas dos oceanos), gás natural recuperado de jazidas de carvão (do inglês coalbed methane, CBM) e gás natural retido nos poros de diferentes rochas tais como arenito, que são menos permeáveis ainda do que o xisto (do inglês tight gas) (SCIELO, 2013).

O gás de xisto é o gás natural que fica retido no xisto. Xisto é uma rocha sedimentar formada pela ação das placas tectônicas sobre minerais tais como a argila, arenito e o silte, formando um mineral impermeável, laminado, chamado de folhelhos. A extração do gás natural se dá através de um processo chamado de fratura hidráulica (do inglês fracking). A fratura hidráulica é um processo de bombeamento de um fluido ou gás através de um poço aberto verticalmente no solo em algumas centenas de metros de profundidade, até encontrar uma região ou camada considerada apropriada para a extração do gás natural, e então é feita uma perfuração horizontal, de alguns metros de extensão. A pressão gerada provoca o aparecimento de fissuras no xisto formadas ao redor do poço. O fluido bombeado, que geralmente é composto por água, areia e diferentes aditivos, percorre as fraturas geradas e provoca a extração do gás natural proveniente do xisto (CAPP, 2014).

Quando chega à superfície, o gás natural está presente na mistura de água, lama, metais traço e aditivos usados na fratura hidráulica.

Processos relativamente similares ao de fratura hidráulica usados para a exploração do gás de xisto são também empregados para a extração do gás natural proveniente do arenito (*tight gas*). A exploração do gás natural recuperado de jazidas de carvão ocorre antes da extração do carvão. A exploração do metano proveniente dos clatratos ainda é incipiente (SCIELO, 2013).

Considerando o gradual esgotamento de reservas convencionais de gás natural, vem crescendo o interesse na exploração de gás natural proveniente de fontes não convencionais, tais como o gás de xisto. Conforme pode ser observado na figura 5.55, dados atualizados pela EIA em 13 de Junho de 2013, as reservas mundiais de gás de xisto, que são tecnicamente viáveis de ser recuperado o gás natural, são de 7299 trilhões de pés cúbicos. Para 2035, nas projeções sobre gás natural, as fontes não convencionais irão contribuir com aproximadamente a metade da demanda de todo o gás natural mundial (EIA, 2014).

Figura 5.55 – Reservas mundiais de gás de xisto (*Shale Gas*)

Colocação	País	Gás de xisto (trilhões de pés cúbicos)
1	China	1115
2	Argentina	802
3	Argélia	707
4	Estados Unidos	665
5	Canadá	573
6	México	545
7	Austrália	437
8	África do Sul	390
9	Rússia	285
10	Brasil	245
Total no mundo		7299

Fonte: EIA, 2014 (adaptado).

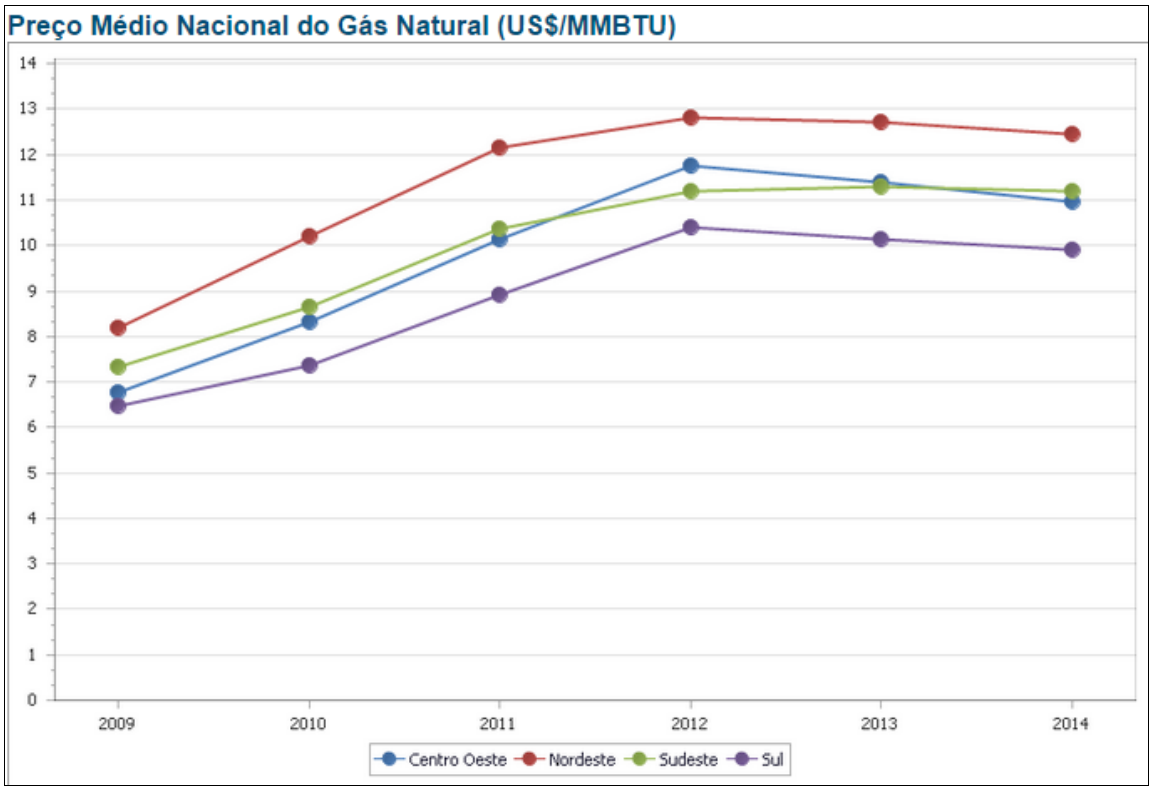
O estudo com foco em 2050 também traça um paralelo para o cenário de preços de gás natural no Brasil e no mundo. A grande diferença existente entre os valores no Brasil em relação à cotação nos Estados Unidos deve diminuir a partir de 2022, consequência da crescente exploração do pré-sal brasileiro e do início da oferta de gás não convencional (GEOFISICA BRASIL, 2014).

Entre 2031 e 2050, a aposta da EPE e do MME é de que haverá convergência gradual de preços, fortalecida pela penetração de hidrato de metano no mercado. "Estima-se que o choque de oferta possibilitado pelo hidrato conduzirá a equidade ao fim do período entre o valor da commodity no mercado nacional e o Henry Hub", destaca o estudo. Em 2012, ainda segundo o estudo, o preço da commodity no mercado nacional era 2,1 vezes o valor de referência Henry Hub (GEOFISICA BRASIL, 2014).

5.9.3 Custos

A figura 5.56 apresenta o preço médio nacional do gás natural em dólar por milhão de unidade térmica britânica (BTU) para o gás natural convencional das regiões brasileiras do ano de 2009 ao ano de 2014.

Figura 5.56 – Preço Médio Nacional do Gás Natural



Fonte: IBP (b), 2014.

O quadro apresentado na figura 5.57 corresponde a um resumo do preço do gás natural de 2009 ao mês de junho de 2014.

Figura 5.57 – Preço Médio do Gás Natural Nacional em US$/MMBTU

Região		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Centro Oeste	Importado	6,78	8,33	10,13	11,75	11,41	10,96
	Nacional	-	-	-	-	-	-
Nordeste	Importado	-	-	-	-	-	-
	Nacional	8,18	10,22	12,14	12,82	12,72	12,46
Sudeste	Importado	6,47	7,37	8,94	9,87	10,11	9,94
	Nacional	8,18	9,92	11,8	12,54	12,45	12,46
Sul	Importado	6,46	7,37	8,93	10,42	10,13	9,92
	Nacional	-	-	-	-	-	-

Fonte: IBP (b), 2014.

O preço do gás natural produzido no Brasil teve um aumento médio de 1,57% em julho de 2014, em mais um passo na estratégia da Petrobras para recuperar as perdas provocadas pela defasagem nos preços dos combustíveis no Brasil. Oferecido ao mercado com descontos entre 2011 e 2013, o gás natural nacional para uso não-termelétrico acumula alta de 6,5% desde que a empresa retomou os reajustes, no início do ano. Distribuidoras e consumidores reclamam dos aumentos em um período de perda de competitividade com relação à indústria americana, beneficiada pelo crescimento da produção de reservas não convencionais "Desde a última atualização de preços antes da concessão de descontos, em fevereiro de 2011, até agosto de 2014, o preço médio do gás natural para uso não-termelétrico aumentou 6,5%, enquanto que a inflação acumulada no País entre fevereiro de 2011 e junho de 2014 foi de 21,9% (IPCA)", segundo a Petrobrás (BRASIL ECONOMICO, 2014).

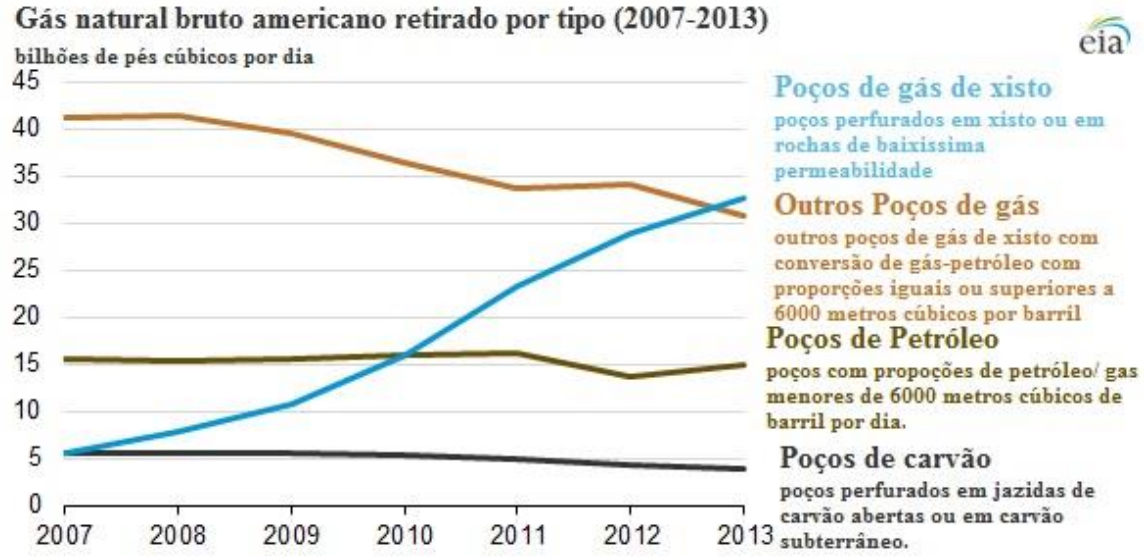
5.9.4 Conclusão

O aumento do preço do ano de 2009 a 2012 ocorreu, segundo a agência portuguesa, devido aos elevados valores pago na matéria prima, bem como a forma de extração da mesma (os países apresentavam pouca tecnologia para obter o gás natural), além disso, afirmaram a ocorrência de oligopólio de duas empresas que impunham preços que os convinham (DN, 2012).

Considerando o gradual esgotamento de reservas convencionais de gás natural, vem crescendo o interesse na exploração de gás natural proveniente de fontes não convencionais, tais como o gás de xisto. Para 2035, nas projeções sobre gás natural, as fontes não convencionais irão contribuir com aproximadamente a metade da demanda de todo o gás natural mundial (EIA, 2014).

A figura 5.58 apresenta um gráfico do crescimento da utilização do gás natural proveniente do xisto. As reservas brutas americanas alcançaram um novo recorde de 82 bilhões de pés cúbicos por dia (BCG/d) em 2013, transformando os poços de gás de xisto a maior fonte de produção total de gás natural.

Figura 5.58 – Gás natural bruto americano em bilhões de pés cúbicos por dia (2007-2013)



Fonte: EIA (b), 2013.

De acordo com a Natural Gas Anual, as retiradas dos poços de gás de xisto bruto aumentou de 5 bilhões de pés cúbicos em 2007 para 33 bilhões de barris de pés cúbicos, representando 40% da produção total de gás natural, superando a produção de poços de gás natural convencionais (EIA (b), 2013).

A nova tecnologia de perfuração permite aos produtores uma transferência para os recursos de extração que são mais fáceis e possuem menores custos de perfuração que podem ser percebidos em um reflexo no preço do mercado do gás natural (redução).

A Petrobras pratica preços diferentes de acordo com a origem do gás natural que vende ao mercado — nacional, boliviano ou importado sob a forma de gás natural liquefeito (GNL). O gás nacional era o único que tinha preço congelado, resultado de uma política para encontrar novos consumidores em um período de pouco uso de térmicas no país. Hoje, com as térmicas operando a plena carga e pesadas perdas com a importação de GNL a preços de até US$ 18 por milhão de BTU, a companhia põe em prática um programa de redução progressiva dos descontos, que foram iniciados em 2011 (BRASIL ECONOMICO, 2014).

Para a Petrobrás, o gás mantém condições de competir com seu principal concorrente. "Hoje, seu preço equivale a 70% do valor do óleo combustível", calcula a empresa. No primeiro trimestre, a companhia experimentou um crescimento de 20% nas importações de GNL para suprir as térmicas a preços menores do que os pagos pelo combustível. A compra de GNL mais caro eliminou parte dos ganhos extras com a venda de energia no mercado de curto prazo, levando o resultado da área de gás e energia a uma queda de 41,3% em relação ao mesmo período do ano anterior.

5.10 Carvão

Trata-se de uma das principais fontes de energia utilizadas pela Humanidade, especialmente na Europa após a Primeira Revolução Industrial. Hoje em dia, com o elevado custo do petróleo, há uma tendência do mundo aumentar o consumo de carvão, já que se trata de uma das maiores reservas de recursos não renováveis de produção de energia (MMA, 2014).

No Brasil, as principais reservas de carvão localizam-se na região sul do país. As reservas possuem 1,4 bilhões de toneladas em Santa Catarina (SC) e de 5,3 bilhões de toneladas no Rio Grande do Sul (RS) (MMA, 2014).

O principal problema ambiental associado ao uso de carvão é o fato de este ser um recurso de origem fóssil, não-renovável. A queima desse combustível, como a de todos os derivados de carbono, gera CO2 (gás carbônico), o principal gás de efeito estufa, responsável pelo aquecimento e por mudanças climáticas em escala global. Quando o derivado de carbono (C) é fóssil, como no caso do carvão, petróleo, xisto e gás natural, são lançadas à atmosfera quantidades de C que estavam imobilizadas, contribuindo para aumentar o inventário de CO2 no meio ambiente. A vida média do CO2 na atmosfera é de cerca de cem anos (MMA, 2014).

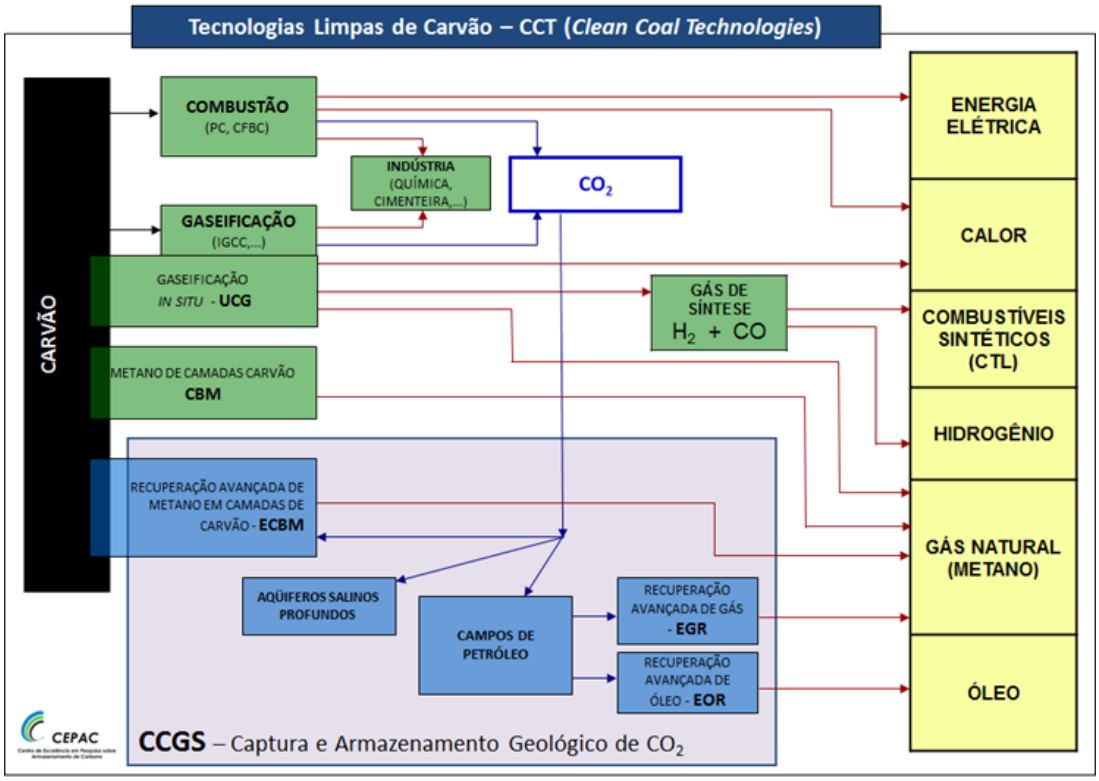
De acordo com a maior ou menor intensidade da encarbonização, o carvão mineral – também chamado carvão fóssil ou de pedra – pode ser classificado como linhito, carvão betuminoso e sub-betuminoso (ambos designados como hulha) e antracito (CEPA, 1999).

Em relação ao petróleo, o carvão é mais difícil de ser extraído e transportado, possui menor densidade de energia e é um combustível mais poluente, já que a sua extração está associada a um nível elevado de elementos nocivos ao meio ambiente, como enxofre e mercúrio. Além disso, a maior parte do petróleo é consumida no setor de transportes, no qual o uso do carvão é tecnicamente bem mais custoso e é feito através da tecnologia limpa de carvão (TLC - CCT) (PPE, 2014).

5.10.1 Tecnologias Limpas de Carvão

As tecnologias de obtenção do carvão podem ser vistas na figura 58 em forma de esquema. São consideradas tecnologias limpas devido ao controle de emissão dos gases de efeito estufa. As siglas presentes na figura e seus significados encontram-se na figura 5.59 em um quadro resumido.

Figura 5.59 – Tecnologias limpas de carvão – CCT



Fonte: CEPAC, 2009.

Figura 5.60 – Quadro explicativo das siglas do esquema da figura 5.59.

Sigla	Termo em inglês	Tradução
CBM	Coalbed Methane	Metano contido em camadas de carvão
ECBM	Enhanced Coalbed Methane	Recuperação avançada de metano contido em camadas de carvão
UCG	Underground Coal Gasification	Gaseificação de carvão *in situ*
CTL	Coal to liquids	Carvão para líquidos
CCS	Carbon Capture and Storage	Captura e armazenamoento de CO2 transversal às anteriores

Fonte: CEPAC, 2009 (adaptado).

O carvão mineral pode ser utilizado em três aplicações principais: combustível para geração de energia elétrica; na siderurgia para a produção de coque (um tipo de combustível derivado do carvão), ferro-gusa e aço; e na carboquímica (solução inovadora, rentável e ambientalmente sustentável) (CGEE, 2014).

5.10.2 Aplicações

- Energia elétrica

Atualmente, o principal uso da combustão direta do carvão é na geração de eletricidade, por meio de usinas termoelétricas. Essa tecnologia está bem desenvolvida e é economicamente competitiva. Vale destacar que o carvão mineral não é o único combustível usado para gerar energia: petróleo, gás natural, energia nuclear, hidroelétricas e até o vento e o sol podem ser utilizados (ABCM, 2014).

- Calor

Diversas indústrias necessitam de calor em processos de produção, tais como a secagem de produtos, cerâmicas e fabricação de vidros. Estas atividades utilizam o carvão mineral na geração de calor (ABCM, 2014).

- Siderurgia

O carvão metalúrgico é o principal combustível utilizado em um alto forno, local em que é fundido o minério de ferro para a produção do ferro metálico e aço. Cerca de 70% destes materiais são produzidos pelas usinas siderúrgicas e são utilizados na construção de carros, pontes, edifícios, casas, panelas, etc. As indústrias siderúrgicas brasileiras importam mais de 14 milhões de toneladas anuais de carvão metalúrgico, provenientes de países como EUA, China, Austrália e Polônia (ABCM, 2014).

5.10.3 Custos

O Carvão fornece 30,1% das necessidades mundiais de energia primária e gera mais de 40% da eletricidade do mundo. Também é utilizado na produção de mais de 70% do aço do mundo.

A produção total mundial de carvão atingiu um nível recorde de 7.822,8 milhões de toneladas em 2013, ou 0,4% a mais que em 2012. A figura 5.61 apresenta a utilização do carvão em porcentagem no setor elétrico dos principais países produtores de carvão.

Figura 5.61 – Utilização do carvão para gerar energia elétrica

Carvão para geração de eletricidade (dados de 2012)					
Mongólia	95%	Austrália	69%	Alemanha	44%
África do Sul	93%	Índia	71%	Estados Unidos	38%
Polônia	83%	Israel	61%	Reino Unido	39%
China	81%	Indonésia	48%	Japão	21%

Fonte: World Coal Association, 2014.

5.10.4 Conclusão

Trabalhando com os horizontes de 2020 e 2035, o estudo mostra que, em curto prazo, a geração termelétrica pode promover um aumento substancial da utilização do carvão mineral nacional, de forma limpa e eficiente. Em médio prazo, a carboquímica aponta rotas estratégicas pela gaseificação do carvão e sua síntese em metanol em larga escala industrial. Na siderurgia, o uso do carvão mineral nacional será sempre complementar ao carvão importado, tendo em vista que suas características não são adequadas para a produção de coque metalúrgico. No entanto, o desenvolvimento de novos processos, como a fusão redutora, pode viabilizar seu emprego neste setor (CGEE, 2014).

Para criar um ambiente mais favorável ao maior uso deste carvão, algumas mudanças devem acontecer no mercado, nos recursos humanos, em infraestrutura física, nos investimentos e em aspectos regulatórios, como: construir um ambiente favorável ao aproveitamento do carvão mineral para geração de energia elétrica, respeitando-se critérios ambientais e ampliando o número de projetos de pesquisa que resultem em produtos comercializáveis, aumentando o depósito de patentes; identificar e caracterizar novas jazidas e melhorar o conhecimento das

existentes; e elevar a eficiência energética das termelétricas nos dois horizontes temporais até 40% e 45%, respectivamente, com menor geração de impactos e emissões (CGEE, 2014).

Atualmente, o principal uso da combustão direta do carvão é na geração de eletricidade, por meio de usinas termoelétricas. Essa tecnologia está bem desenvolvida e é economicamente competitiva. Do gás produzido pelo carvão, pode-se também obter fertilizantes, amônia, combustíveis líquidos, lubrificantes, combustível para aviação, diesel, metanol, etc (ABCM, 2014).

5.11 Biomassa

Pode ser considerado como biomassa todo recurso renovável que provêm de matéria orgânica - de origem vegetal ou animal - tendo por objetivo principal a produção de energia (MMA, 2014).

A biomassa é uma forma indireta de aproveitamento da luz solar em que ocorre a conversão da radiação solar em energia química por meio da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos (MMA,2014).

No que se refere às fontes de energia renovável, a mais importante tem sido a biomassa, em suas múltiplas formas: lenha, resíduos vegetais, álcool, biodiesel etc. Seu papel é particularmente relevante nos países que ainda estão no início do processo de industrialização, sendo pouco provável substitua em grande escala os combustíveis fósseis. No caso do Brasil, entretanto, a biomassa poderá contribuir de forma significativa para a matriz energética, em virtude dos custos de produção relativamente pequenos (REVISTA DO BNDES, 2004).

Existem diversas rotas para a biomassa energética, com extensa variedade de fontes - que vão desde os resíduos agrícolas, industriais e urbanos até as culturas plantadas exclusivamente para a obtenção de biomassa (ALAGER, 2014).

As tecnologias para os processos de conversão são as mais diversas possíveis e incluem desde a simples combustão ou queima para a obtenção da energia térmica, até processos físicos-químicos e bioquímicos complexos para a obtenção de combustíveis líquidos e gasosos (MMA, 2014).

Uma das principais vantagens da biomassa é que, apesar de possuírem eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras e outros. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a co-geração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética (MMA, 2014).

As principais fontes de biomassa são: Biomassa de cultivos agrícolas, biomassa de origem vegetal, biomassa contida nos resíduos sólidos urbanos e biomassa do esgoto sanitário.

5.11.1 Biomassa de cultivos agrícolas

No campo da biomassa de cultivos agrícolas, o bagaço e a palha de cana são consideradas algumas das mais importantes no contexto da agricultura brasileira, sendo aproveitadas em caldeiras para gerar energia nas usinas, além do excedente energético ter a possibilidade de ser acrescido ao sistema elétrico (MMA, 2014). Existem empresas no Brasil, como a Raízen que são destaque no setor como a maior produtora de energia elétrica a partir da biomassa cana-de-açúcar. Usam alta tecnologia para gerar bioeletricidade, que consiste no aproveitamento dos coprodutos da cana (bagaço, palha e folhas), gerados a partir da produção de açúcar e etanol (RAIZEN, 2014).

A empresa conta com 13 termoelétricas associadas às unidades produtoras e possuem uma capacidade total instalada de 940 MW nas 24 unidades. Esse potencial representa uma comercialização anual de energia elétrica de aproximadamente 1,8 milhão de MWh, o suficiente para suprir, por exemplo, uma cidade de cinco milhões de habitantes (RAIZEN, 2014).

Além dos resíduos provenientes da cultura da cana-de-açúcar, a maioria das culturas brasileiras gera biomassa que podem se utilizadas para a geração de energia. No entanto grande parte é queimada ou retorna ao solo através da incorporação dos restos de cultura. Podemos citar outros resíduos tais como: a casca de arroz, cascas de castanhas, côco da bahia, côco de babaçu e dendê, cascas de laranjas, etc (MMA, 2014). A figura 5.62 ilustra algumas fontes de biomassa de origem agrícola, onde pode ser vista a cana de açúcar, o trigo, a uva, o milho e a laranja.

Figura 5.62 – Biomassa de cultivo agrícola

Fonte: SMART BIOTECNOLOGIA, 2014.

5.11.2 Biomassa de origem vegetal

Parte da demanda energética brasileira ainda é atendida pela queima de madeira. De acordo com o LPF/Ibama, os cerca de 50 milhões de metros cúbicos de madeira em tora extraídos por ano na região amazônica produzem apenas 20 milhões de metros cúbicos de madeira serrada. Do total, aproximadamente 60% é desperdiçado nas serrarias durante o processamento primário. Em geral, mais 20% são desperdiçados no processamento secundário, gerando um imenso volume de resíduos (ALAGER, 2014).

No Brasil, existe ainda muito resíduo proveniente da atividade florestal sendo desperdiçado, podendo, se bem utilizado, significar um acréscimo na geração de energia principalmente para comunidades que não são beneficiadas pelo sistema elétrico nacional (ALAGER, 2014). A figura 5.62 apresenta algumas fontes de energia de biomassa florestal e vegetal.

Figura 5.63 – Biomassa vegetal

Fonte: SOLAR ENERGIA BRASIL, 2014.

5.11.3 Biomassa contida nos Resíduos Sólidos Urbanos

A partir de um estudo de "Gestão de Resíduos no Brasil: uma visão geral" publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) em 2007, a quantidade de RSU coletado no Brasil foi de 164.774 ton/dia, contra um total de 173.524 ton/dia gerados - o que indica uma boa eficiência global de coleta. Entretanto, a destinação a maioria das vezes é inadequada, principalmente nos municípios menores, onde predominam os lixões (ALAGER, 2014).

Os RSU no Brasil são ricos em matéria orgânica - cerca de 50% a 60% - o que ofereceria oportunidades importantes na geração de energia e na compostagem, mas o que muitas vezes ocorre é a disposição em aterros sanitários. Em países desenvolvidos, as diretrizes são opostas, pois o Landfill Directive da União Européia (UE) já recomendava a redução drástica do envio de materiais biodegradáveis para aterros sanitários até o ano de 2006, com o objetivo de erradicar totalmente o aterramento desses materiais. Na UE, a potência instalada a partir de RSU em 2000 era de 8.800 MW (8.8 GW) (ALAGER, 2014).

Se considerado o valor mais conservativo, teríamos 82 mil ton/dia de matéria orgânica no RSU. Se considerada a possibilidade de fermentação anaeróbia, tem-se a geração de 350 a 500 m3 de gás metano/ton, o que complementaria a demanda brasileira por gás combustível, do qual a principal fonte é o gás natural, com inconveniente dependência de fornecedores externos, além de se tratar de um recurso não-renovável (MMA, 2014).

Outra possibilidade é a incineração direta do resíduo, que gera um mínimo de 0,4 MW/ton. Se consideradas as 82 mil ton/dia, obter-se-ia uma potência de 1,36 GW. Desse modo, a incineração é um processo mais eficiente do que a geração por fermentação anaeróbia, mas apresenta o desafio de remoção de poluentes orgânicos persistentes (POP), objeto da Convenção de Estocolmo. Essa remoção é tecnicamente viável com a adoção de sistemas de tratamento de gases eficientes, com a possibilidade de conversão catalítica de poluentes (MMA, 2014).

A figura 5.64 apresenta um esquema da forma de tratamento dos resíduos urbanos e quais os destinos finais dos produtos.

Figura 5.64 – Tratamento dos resíduos sólidos urbanos

Fonte: WORLD BANK, 2014 (adaptado).

5.11.4 Biomassa de estações de tratamento de esgosto (ETE)

Segundo estudo do IBGE publicado em 2000, no ano de 1989 apenas 47,3% dos municípios brasileiros possuíam esgotamento sanitário. Onze anos mais tarde, a situação não melhorou muito: 52,2% dispondo desses serviços (MMA, 2014).

Se a cobertura do serviço é reduzida e o tratamento pouco abrangente, a situação se agrava quanto à destinação final. Dos municípios que dispõem de esgotamento, um terço tratam esse efluente, ao passo que a maioria (dois-terços) despejam o material in natura no meio ambiente - geralmente em rios -provocando impactos ambientais negativos já bem conhecidos (MMA, 2014).

Ainda segundo o IBGE, o volume total de esgotos no Brasil atinge 14,5 milhões de m^3/dia, o que resulta em 5,2 bilhões de m^3/ano. Se essas informações forem cruzadas com dados qualitativos de Pereira Lima e Oliveira, o teor médio de sólidos no esgotamento sanitário é 0,1%, dos quais 70% são de matéria orgânica (m.o.). Se considerada uma densidade de 0,8, o resultado é um total de 2,9 milhões ton m.o./ano.

Da mesma forma que é possível realizar a digestão anaeróbia do efluente de esgoto, além de priorizar a universalização do serviço, pode-se gerar biogás a partir da fermentação anaeróbia, produzindo metano para geração de energia elétrica ou uso veicular. Pode-se dar destinação diferenciada ou não ao lodo e ao efluente aquoso.

5.11.5 Custos

Os custos relacionados à obtenção de energia, calor e movimento estão relacionados aos preços de processo conforme indica a figura 64.

A única tecnologia comercial utilizada em larga escala é a combustão direta da biomassa em caldeiras, em ciclos a vapor, com produção de 40 GWe em unidades médias com potência de 20 MW. A combustão direta poderia

atingir US$0,042/ kWh com custos progressivamente menores da biomassa, e com alguns avanços tecnológicos (pré-secagem do material, transporte/alimentação, fornalhas próprias para material com alto teor de alcalis) (BIODIESEL BR, 2014).

As duas outras tecnologias consideradas para conversão termelétrica são (BIODIESEL BR, 2014).

- Combustão mista de biomassa/carvão, com até 10-15% de madeira, e custo de US$ 100-700/kW;
- Gaseificação da biomassa e uso do gás em ciclos combinados.

Esta última não é ainda uma tecnologia comercial, existindo apenas na etapa de planta piloto, com potencia variável dentre 5-30 MWe. Outras tecnologias envolvem a gaseificação pressurizada ou atmosférica; o aquecimento direto ou indireto, leito fixo (limitado a pequeno porte) ou CFB; com injeção de ar ou oxigênio. Em todos os casos há necessidade de avanços tecnológicos para sua viabilização.

Nos países do Primeiro Mundo, com a tecnologia atualmente disponível, uma planta de 30 MWe, usando madeira (com custo de US$4/GJ) teria eficiência elétrica líquida de 41-45%, gerando energia na faixa de US$ 4000/kWe. As projeções para a próxima década indicam plantas com potência de 110 MWe, com custos de US$1600- 2400/KWe instalado, e com custo da energia gerada de US$0,07¬0,09/kWh, considerando o custo da biomassa a US$4./GJ.

Considerando a evolução nos custos internacionais de biomassa e da tecnologia, as projeções futuras indicam que, em 2030, o custo poderá cair para US$ 1100/kw, quando o kWh de energia produzida atingiria, a valores de hoje, US$0,04/ kWh.

No Brasil, já foi possível antecipar a redução de custos. A planta projetada para construção na Bahia, utilizando madeira (abaixo de US$ 1,5/GJ), com potência instalada de 32 MWe, teria 37% de eficiência elétrica líquida – base PCS – com custo de US$ 2500/kWe, uma redução superior a 40% em relação aos países do Hemisfério Norte.

Figura 5.65 – Custos das tecnologias de obtenção de energia pela biomassa

	Custo de investimento (USD/ kW)	Custos de nivelamento médio LCOE (USD/kWh)
Caldeira Stoker - Leito fixo (grelha fixa ou rotativa)	1880 - 4260	0,06 - 0,21
Caldeira de circulação e leito fluidizado borbulhante	2170 - 4500	0,07 - 0,21
Gaseificadores de leito fixo e de leito fluidizado	2140 - 5700	0,07 - 0,24
Gás de aterro	1917 - 2436	0,09 - 0,12
Digestores	2574 - 6104	0,06 - 0,15
Cogeração Stoker	5550 - 6820	0,07 - 0,29
Gaseificadores de cogeração	5570 - 6545	0,11 - 0,28
Combustão	140 - 850	0,04 - 0,13

Fonte: IRENA, 2012 (adaptado).

Os custos nivelados de energia (LCOE) de usinas movidas a biomassa varia de USD 0,06 a USD 0,29 / kWh dependendo dos custos de capital investidos e custos de matéria-prima. Onde matérias-primas de baixo custo estão disponíveis e os custos de investimento são modestos, a biomassa pode ser uma opção muito competitiva de geração de energia (IRENA, 2012).

Onde resíduos agrícolas ou florestais estão disponíveis em baixo custo, a biomassa pode muitas vezes competir com as fontes de energia convencionais. Mesmo nos casos em que as matérias-primas são mais caras, a variação de LCOE para a biomassa ainda é mais competitivo do que para a geração movida a diesel, tornando biomassa uma solução ideal para off-grid ou fornecimento de eletricidade mini-grid (IRENA, 2012).

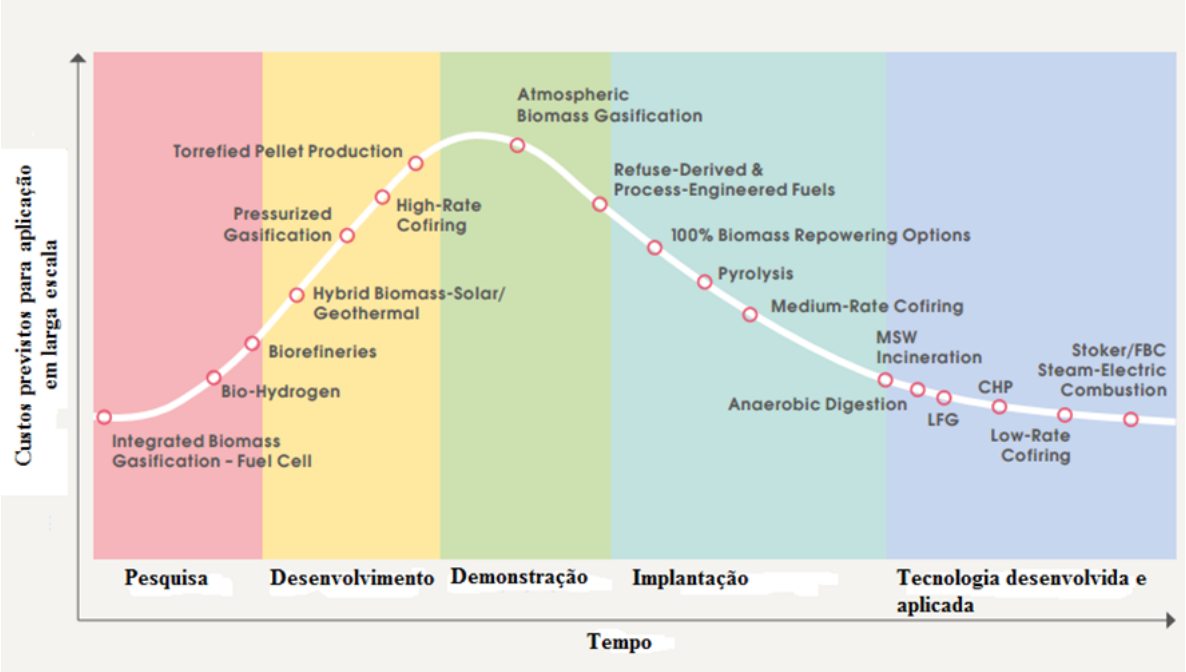
5.11.6 Conclusão

Em médio e longo prazo, a exaustão de fontes não renováveis e as pressões ambientalistas poderão acarretar maior aproveitamento energético da biomassa. Atualmente, a biomassa vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de co-geração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica (ANEEL, 2014).

Além de ambientalmente favorável, o aproveitamento energético e racional da biomassa tende a promover o desenvolvimento de regiões menos favorecidas economicamente, por meio da criação de empregos e da geração de receita, reduzindo o problema do êxodo rural e a dependência externa de energia, em função da sua disponibilidade local (ANEEL, 2014).

A figura 5.66 apresenta um gráfico do nível de desenvolvimento das tecnologias de geração de energia através da biomassa segundo a International Renewable Energy Agency (IRENA, 2012).

Figura 5.66 – Desenvolvimento das tecnologias de geração de energia pela biomassa



Fonte: IRENA, 2012.

Muitas opções de geração de energia de biomassa estão suficientemente desenvolvidas e são tecnologias comercialmente disponíveis (por exemplo, de combustão direta em caldeiras Stoker (leito fixo), combustão de baixa taxa, digestão anaeróbia, de incineração de resíduos sólidos urbanos, de gás de aterro e cogeração (CHP)). Enquanto outras são menos desenvolvidas e estão apenas no início de sua implantação (por exemplo, gaseificação de biomassa atmosférica e pirólise), outros ainda estão apenas como demonstração ou em fases de pesquisa e desenvolvimento (Projetos P&D) (por exemplo: gaseificação integrada de ciclo combinado, biorefinarias, biohidrogênio). O potencial para a redução de custos é, portanto, muito heterogêneo. Somente as reduções de custos marginais são observadas em curto prazo, mas o potencial de longo prazo para a redução de custos das tecnologias que ainda não são amplamente implantadas é favorável (IRENA, 2012).

Os produtos obtidos pelo processamento da biomassa, não são apenas as formas de energia, calor, movimento e eletricidade. É também possível a obtenção de (PROF2000, 2014):

- Bio-óleo: líquido negro obtido por meio do processo de pirólise cujas destinações principais são aquecimento e geração de energia eléctrica.

- Biogás: metano obtido juntamente com dióxido de carbono por meio da decomposição de materiais como lixo, alimentos, esgoto e esterco em digestores de biomassa.

- Biomass-to-Liquids: líquido obtido em duas etapas. Primeiro é realizado um processo de gaseificação, cujo produto é submetido ao processo de Fischer-Tropsch. Pode ser empregado na composição de lubrificantes e combustíveis líquidos para utilização em motores do ciclo diesel.

- Etanol Celulósico: etanol obtido alternativamente por dois processos. Em um deles a biomassa, especificamente celulose, é submetida ao processo de hidrólise enzimática, utilizando uma enzima denominada celulase. O outro processo é composto pela execução sucessiva das três seguintes fases: gasificação, fermentação e destilação.

- Bioetanol "comum": feito no Brasil à base do sumo extraído da cana de açúcar. Há países que empregam milho (caso dos Estados Unidos) e beterraba (da França) para a sua produção. O sistema à base de cana-de-açúcar empregado no Brasil é mais viável do que o utilizado pelo americano e francês.

- Biodiesel é feito do dendê, da mamona e da soja.

- Óleo vegetal: Pode ser usando em motores diesel usando a tecnologia Elsbett.

Capítulo 6: Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento do setor elétrico – Alternativas Energéticas[6]

Resumo: **Este trabalho trata de um estudo a respeito do estado da arte das fontes de energia capazes de gerar eletricidade, movimento ou calor. O texto é fundamentado nas informações contidas no livro "Alternativas Energéticas: Uma visão CEMIG" e acrescido de informações do atual nível de desenvolvimento da energia, como: estado de desenvolvimento da tecnologia, utilização, custos e nível de aplicação comercial. A partir da coleta de informações, buscou-se introduzir o assunto de maneira conceitual, seguida da atualização quanto ao nível de desenvolvimento das pesquisas relacionadas aos equipamentos, apresentando assim uma possível aplicação em larga escala comercial de acordo com o preço atual da tecnologia..**

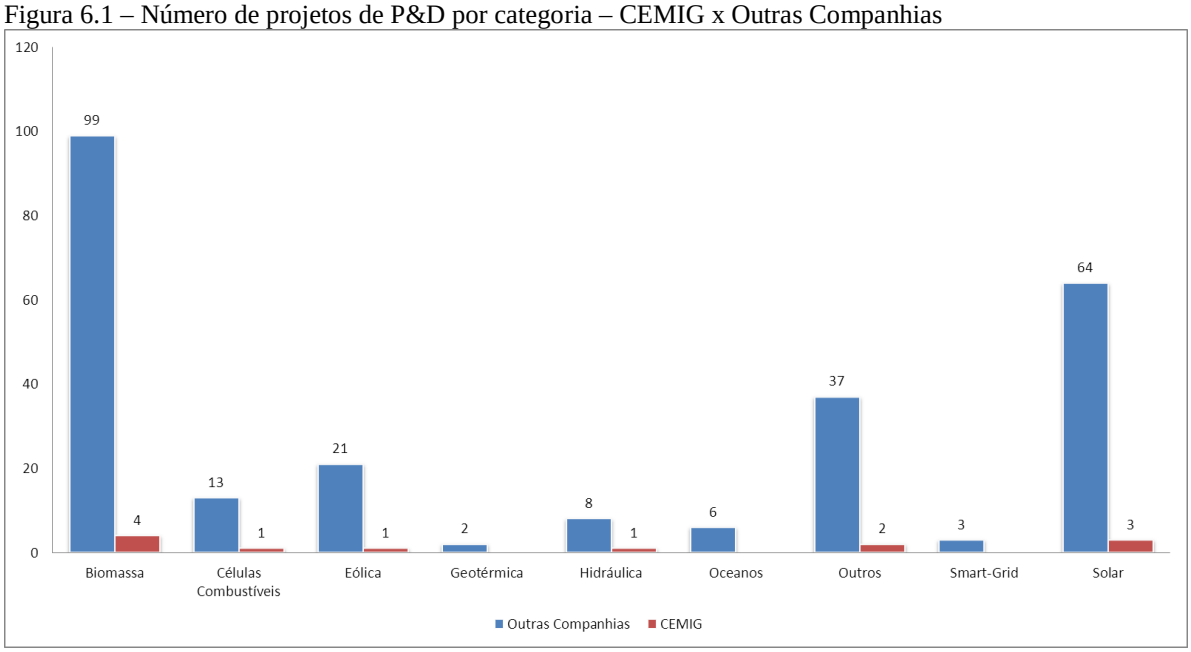
6.1 Introdução

Desde o final de 2008 até a última atualização da ANEEL no dia 15/07/2013, foram cadastrados 1992 projetos de P&D, sendo 253 projetos na área de fontes alternativas de energia, o que representa aproximadamente 13% do número total.

O número de empresas que investe na área de fontes alternativas de energia é grande, de um total de 139 empresas que possuem projetos de P&D no setor elétrico, 65 empresas, aproximadamente 50% do total, possuem projetos de fontes alternativas cadastrados. A CEMIG hoje é a segunda maior empresa no número de projetos, possuindo 150 projetos de P&D, sendo 12 de fontes alternativas. A empresa com maior número de projetos é a CELESC – DIST, com um total de 213 projetos, sendo 16 em fontes alternativas. A figura 6.1 mostra o comparativo entre o número de projetos de P&D em fontes alternativas, divididos por categoria, de outras empresas e da CEMIG. A figura 6.2 mostra a divisão dos projetos de P&D por categoria e por cada empresa atuante no setor. A figura 6.3 mostra a divisão dos projetos em fontes alternativas e em outros projetos do setor elétrico por empresa.

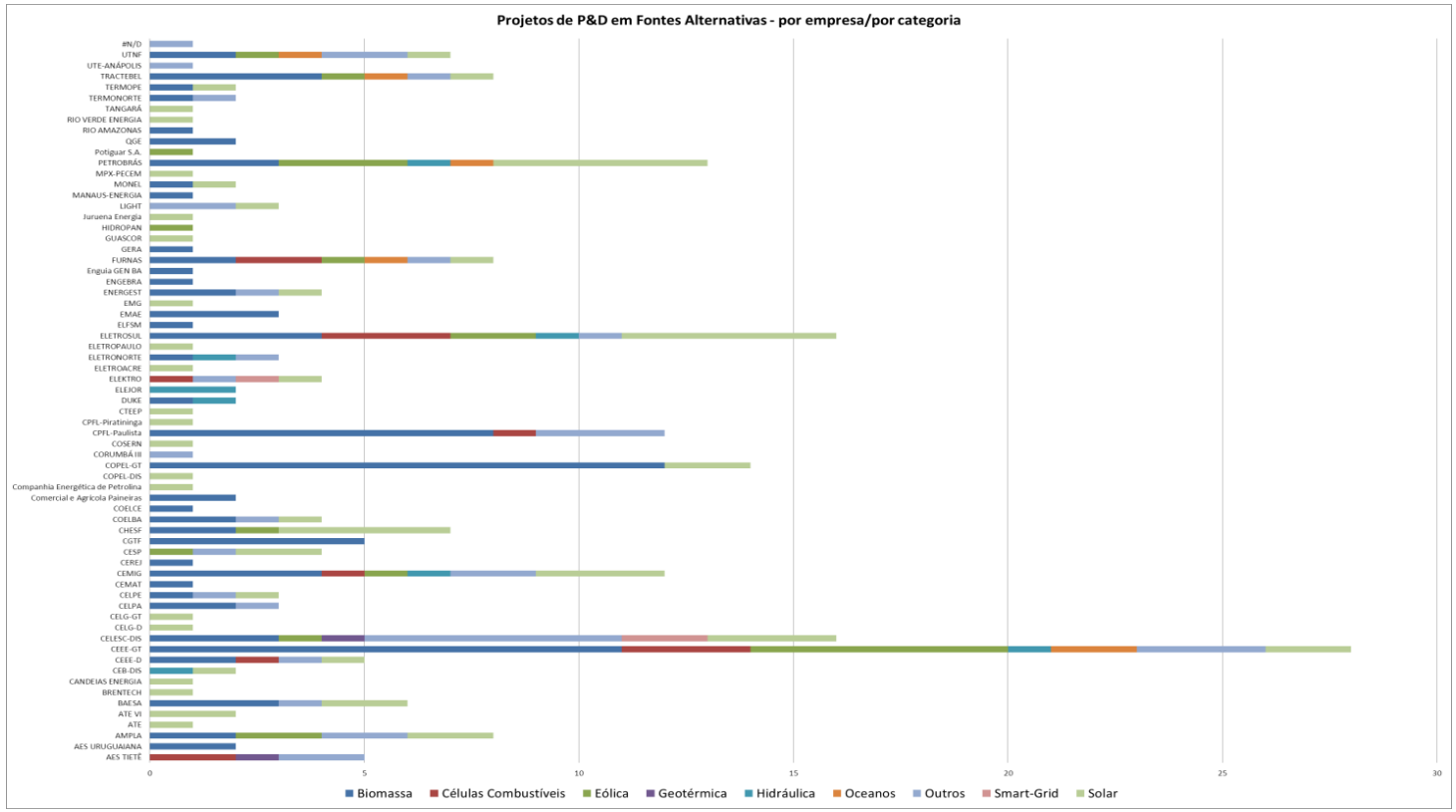
[6] Trabalho realizado pelo estagiário Gabriel Macedo Rodarte Silva, em 2014.

Figura 6.1 – Número de projetos de P&D por categoria – CEMIG x Outras Companhias



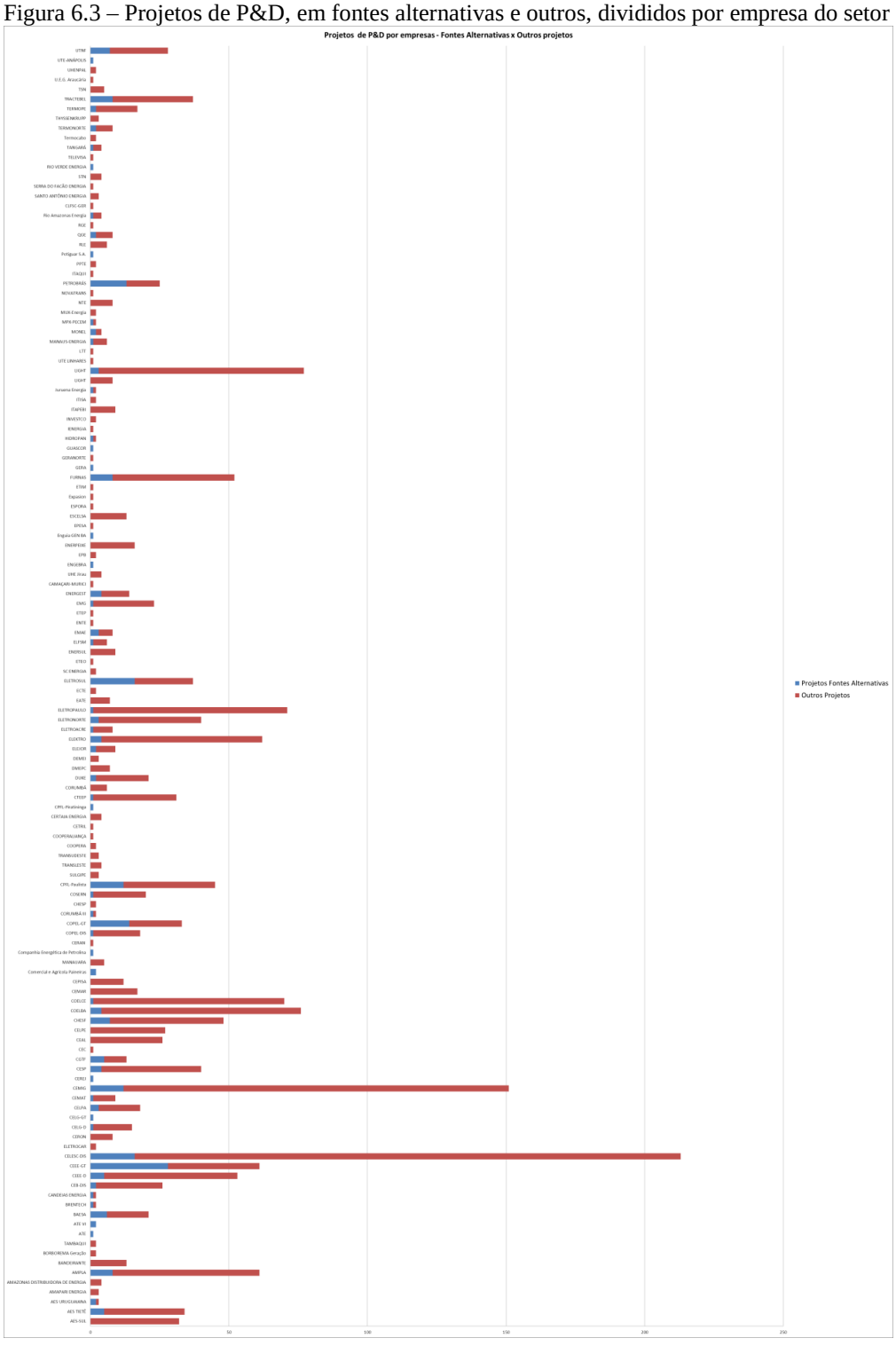
Fonte: ANEEL, 2014

Figura 6.2 – Projetos de P&D em fontes alternativas divididos por categoria e por empresa



Fonte: ANEEL, 2014

Figura 6.3 – Projetos de P&D, em fontes alternativas e outros, divididos por empresa do setor



Fonte: ANEEL, 2014

Os projetos foram classificados em 8 categorias e uma categoria chamada outros, contendo uma série de projetos em fontes alternativas que não se enquadravam em nenhuma das categorias propostas. As categorias para classificação foram Biomassa, Células Combustíveis, Eólica, Geotérmica, Hidráulica, Oceanos, *Smart-Grid* e Solar.

As categorias, Geotérmica, Oceanos e *Smart-Grid* apesar da pequena representatividade foram destacadas pois representam categorias que estão sendo exploradas de maneira inicial e os projetos de P&D nesse setor merecem um destaque pois ajudam no desenvolvimento e ampliação da tecnologia. Os projetos em energia Oceânica são todos destinados ao aproveitamento da energia das ondas. Os projetos de energia geotérmica focam o aproveitamento de energia de fontes de baixas temperaturas e o mapeamento do potencial geotérmico em Santa Catarina. Os projetos de *Smart-Grid* são focados na geração distribuída e geração eficiente de energia.

As outras categorias serão explicadas brevemente a seguir, enfatizando qual a área se enquadram a maioria dos projetos proposto em cada uma das tecnologias.

- Biomassa: Os projetos envolvendo algum tipo de biomassa são os que possuem a maior quantidade de estudo, são 99 projetos na área. Os principais temas abordados são a produção de biogás a partir de diversos processos, aproveitamento de resíduos urbanos e agrícolas, e a produção de biocombustíveis com biodiesel e bio-óleo. A CEMIG possui 4 projetos na área de biomassa, que abrange resíduos sólidos, geração de energia elétrica a partir de etanol de mandioca, resíduos agrícolas e produção de biogás.

- Células Combustíveis: São 13 os projetos em estudo sobre células combustíveis e em sua maioria envolve a produção de hidrogênio a partir de alguma forma e o estudo da célula combustível para geração de energia elétrica. A CEMIG possui um projeto na área que consiste no estudo da produção do hidrogênio a partir da eletrólise da água e de célula a combustível utilizando energia não assegurada das UHEs da AES Tietê.

- Eólica: Abordando a energia eólica atualmente existem 21 projetos cadastrados, sendo alguns deles estudos sobre potencial de energia vinda dos ventos de determinada região, otimização da geração, diminuição dos custos, entre outros. A CEMIG possui um projeto na área que consiste no Desenvolvimento de Sistema de Avaliação de Potencial Eólico (SAPE) composto de metodologia e ferramenta computacional.

- Hidráulica: São 8 projetos de pesquisa que envolvem o assunto, com destaque para o aproveitamento remanescente nos canais de fuga das usinas, estudos de turbinas hidrocinéticas, que são turbinas para geração de energia a partir da vazão do rio, sem necessidade de barragem ou conduto forçado. A CEMIG possui um projeto na área, sendo ele um estudo de uma nova forma de geração de energia utilizando o empuxo.

- Solar: Tecnologia que possui o segundo maior número de projetos de P&D, com 64 projetos. Os projetos abrangem a área de fotovoltaica, com estudos em aumento da eficiência dos sistemas, concentrados solares, tecnologia dos módulos fotovoltaicos e mapeamento da radiação solar da região. A CEMIG possui três projetos na área, sendo eles, Prototipagem de bomba de frio utilizando anteparos solares tipo Brise, Energia fotovoltaica concentrada e Desenvolvimento de Células Fotovoltaicas Utilizando Filmes de Diamante CVD.

Capítulo 7: Energia Oceânica - Detalhamento da tecnologia e dos custos envolvidos[7]

Resumo: **Em vista do aumento do consumo de energia elétrica ao redor do mundo é necessário que novos potenciais sejam explorados para que seja possível a ampliação da matriz energética mundial, tanto em quantidade gerada como em fontes, para diminuirmos a dependência de combustíveis fósseis e aumentarmos a participação de energias renováveis para geração de energia elétrica. O trabalho tem como principal objetivo a identificação de custos relativos às diversas formas de aproveitamento do potencial de energia oceânica, e a sua aplicação em rios. As principais tecnologias foram detalhadas para cada tipo de aproveitamento, assim como os respectivos custos e potenciais. Foi colocado também alguns aspectos e possíveis impactos, positivos e negativos referente à tecnologia e quais poderiam ser as tecnologias que poderiam ter algum uso em rios. O futuro da tecnologia é promissor em alguns tipos de aproveitamento e foi abordado mais profundamente nas considerações finais ao final do trabalho.**

7.1 Introdução

Em busca da ampliação da matriz energética mundial devido ao crescimento do consumo e também da atual preocupação com questões ambientais, novas tecnologias para geração de energia estão sendo desenvolvidas.

Devido ao grande potencial disponível, a Energia Oceânica vem sendo estudada com profundidade em diversos países para que possa contribuir com a ampliação da matriz energética mundial de forma limpa e sustentável.

Com objetivo de ampliar o conhecimento sobre a tecnologia, analisar suas aplicações e observar quais os principais custos, foi desenvolvido o trabalho buscando colocar, de forma resumida, as principais formas de aproveitamento do potencial existente nos oceanos e as tecnologias associadas aos tipos de aproveitamento, bem como seus respectivos potenciais e custos, além de uma análise geral dos aspectos e impactos envolvidos com o aproveitamento da Energia Oceânica.

7.2 Definição

Energia oceânica pode ser definida como qualquer tipo de aproveitamento ou conversão da energia contida nos oceanos. Esse aproveitamento pode ser realizado de algumas formas e o foco do estudo são as formas de aproveitamento para a geração de energia elétrica (ESTEFEN, 2012).

Para a obtenção de energia elétrica são conhecidos e já utilizados alguns mecanismos de conversão a partir das formas de energia disponíveis nos oceanos.

Segundo (ESTEFEN, 2012) são seis as fontes de energia a partir dos oceanos que podem ser divididas em:

- Ondas;
- Variação de Maré;
- Corrente de Maré;
- Corrente Oceânica;

[7] Trabalho realizado pelo estagiário Gabriel Macedo Rodarte Silva, em 2014.

- Gradiente Térmico;

- Gradiente de Salinidade.

Informações sobre cada tecnologia serão descritas a seguir, assim como os principais aspectos que as envolvem, potenciais e custos relacionados.

A energia oceânica tem um potencial teórico total estimado em aproximadamente 2.060.000 TWh/ano, porém o potencial técnico é um valor bastante inferior ao valor teórico, devido à eficiência baixa de alguns processos, locais de exploração não viáveis, entre outros. Em cada forma para utilização da energia oceânica será identificado o seu potencial (ESTEFEN, et. al. 2011).

7.3 Formas para utilização

7.3.1 Ondas

As ondas são grandes massas de água que, por possuírem certa velocidade, transportam a energia cinética. Essa energia contida nas ondas é provinda da transferência de energia do vento para a superfície dos oceanos em alto mar, o que promove o deslocamento da água até a costa (CUNHA E ONOFREI, 2014)

Para a conversão da energia contida nas ondas em energia elétrica são utilizados alguns tipos de dispositivos, definidos de acordo com a profundidade e a distância da costa do local que será aproveitado. De acordo com (CUNHA E ONOFREI, 2014) existem três grupos de sistemas, são eles:

- Dispositivos fixos no litoral, sujeito a rebentação (*shoreline*);

- Dispositivos perto da costa (até 500 metros) e em água poucos profundas (entre 20 e 25 metros) (*nearshore*);

- Dispositivos em alto mar (a partir de 25 metros de profundidade).

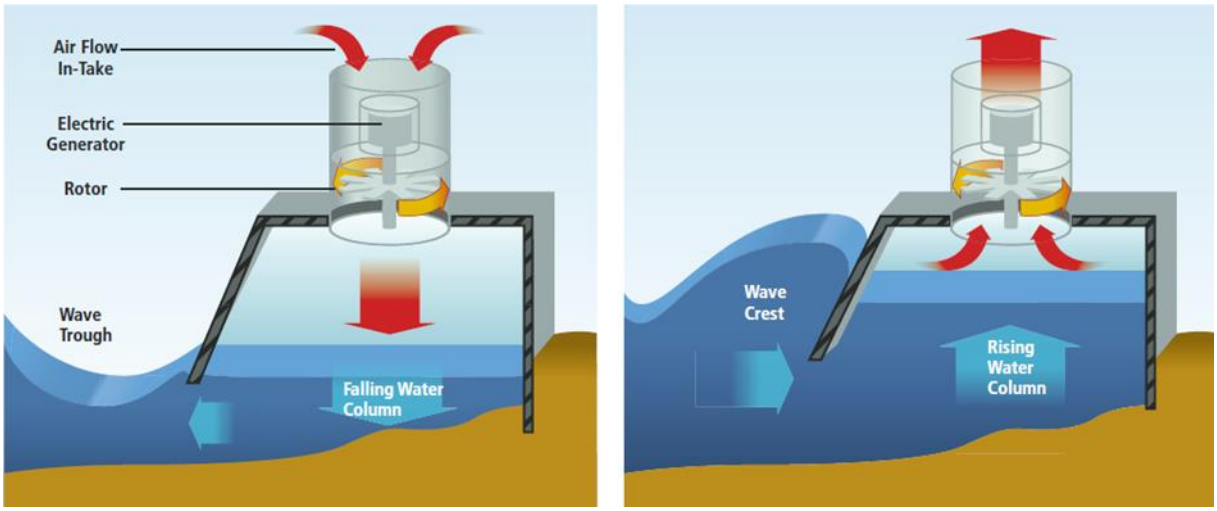
Os principais sistemas de aproveitamento e conversão da energia das ondas em energia elétrica serão descritos a seguir.

7.3.1.1 Colunas de Água Oscilante (OWC)

O sistema consiste em uma câmara que contém uma abertura inferior para o mar e pode ser localizado na costa, em algum local acima das ondas (quebra-mar) ou um sistema flutuante (ESTEFEN, *ET. AL.* 2011 e CUNHA E ONOFREI, 2014).

Seu funcionamento ocorre através da entrada de água nessa câmara através das ondas, fazendo com que esse volume de água oscile no interior, subindo e descendo e assim promove o movimento de ar no restante da câmara, fazendo esse ar movimentar uma turbina que será conectada em um gerador elétrico (ESTEFEN, *ET. AL.* 2011 e CUNHA E ONOFREI, 2014). O funcionamento do sistema é mostrado na Figura 7.1.

Figura 7.1 – Funcionamento sistema OWC



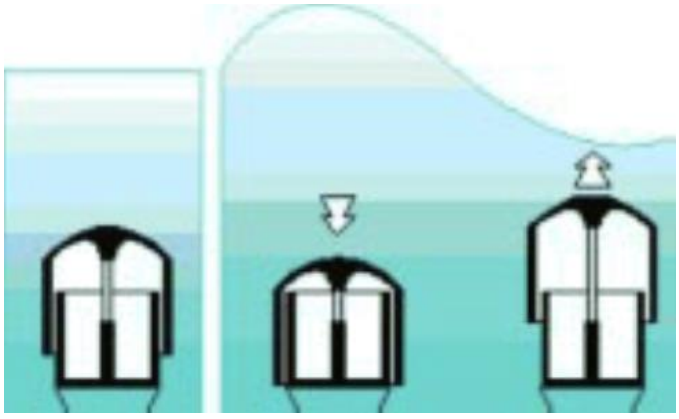
Fonte: ESTEFEN, *et al.* 2011.

7.3.1.2 Sistema de Corpo Oscilante (AWS)

O sistema de corpo oscilante consiste em um corpo flutuante ou submerso preso a um eixo vertical, onde, no interior deles existe ar pressurizado, ou algum outro fluido pressurizado, a uma pressão em que o corpo flutuador e a coluna de água que ele sustenta estejam em equilíbrio. Ao passar da onda a pressão externa varia, produzindo assim um movimento oscilatório vertical que aciona um gerador linear que produz energia elétrica (SARMENTO E CRUZ, 2004)

O sistema tem um diâmetro entre 10 e 15 metros e pode ser considerado um dispositivo de absorção pontual de energia. A figura 7.2 ilustra o funcionamento e a figura 7.3 ilustra o dispositivo.

Figura 7.2 – Princípio de funcionamento do AWS



Fonte: SARMENTO E CRUZ, 2004.

Figura 7.3 – Ilustração dispositivo AWS

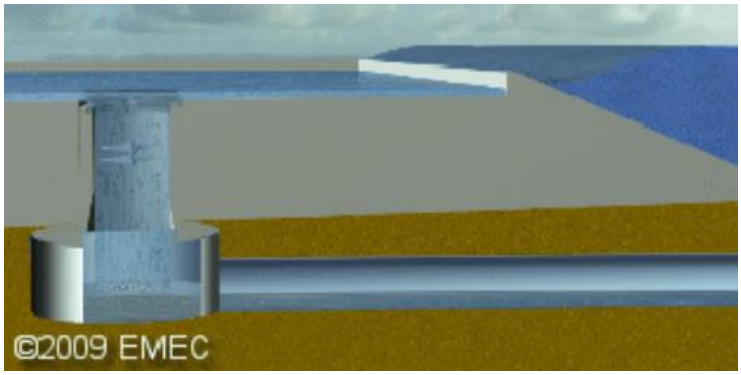
Fonte: SARMENTO E CRUZ, 2004.

7.3.1.3 Dispositivo de Galgamento

O sistema de galgamento é um sistema instalado acima do nível do mar, utilizado para capturar a massa de água superior da onda, formando um "reservatório" por onde a água irá escoar, passando por uma turbina, e voltará ao corpo do mar normalmente. Pode ser instalado de forma fixa na costa ou em sistema flutuantes no mar (CUNHA E ONOFREI, 2014).

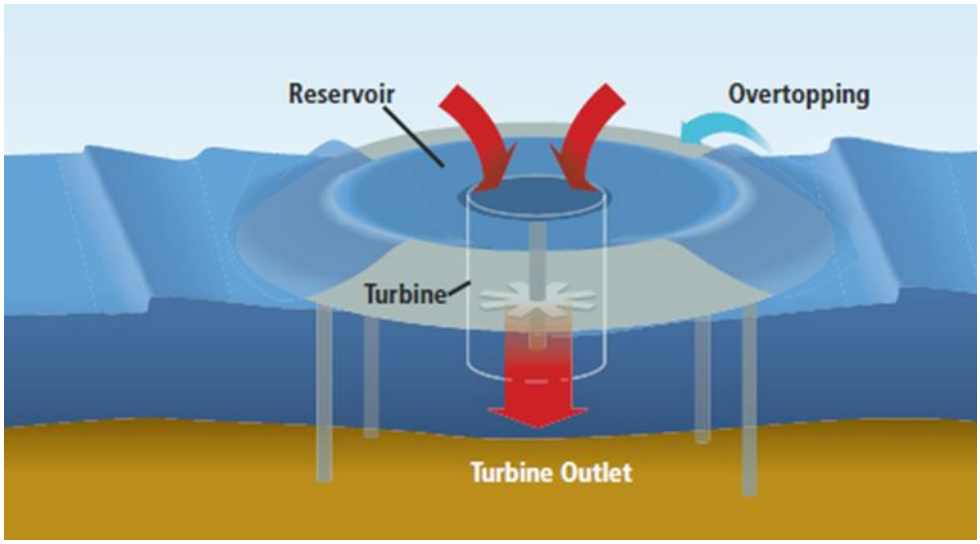
A ilustração do modo de funcionamento do sistema pode ser vista nas figuras 7.4 e 7.5.

Figura 7.4 – Sistema de galgamento instalado na costa



Fonte: CUNHA E ONOFREI, 2014.

Figura 7.5 – Sistema de galgamento flutuante



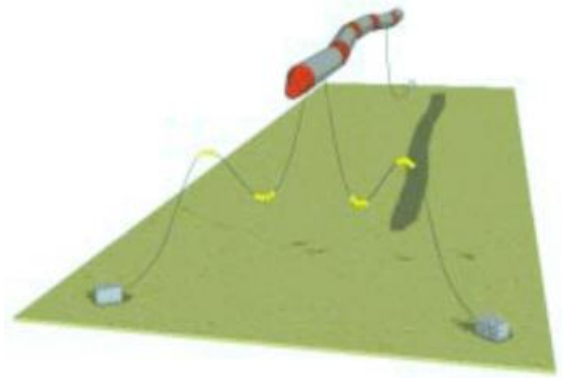
Fonte: ESTEFEN, *et al.* 2011.

7.3.1.4 Atenuadores tipo Pelamis

A conversão de energia das ondas pelos atenuadores tipo Pelamis é progressiva, isso é, são dispositivos alongados, com mais de 100 metros de comprimento e 3,5 metros de diâmetro aproximadamente e estão dispostos no sentido de propagação da onda, gerando um efeito de bombeamento progressivo de um óleo dentro do dispositivo, pressurizando o óleo, que passará por turbinas hidráulicas que, conectados a um gerador, produzirão energia elétrica (SARMENTO E CRUZ, 2004)

Os conversores são conectados por cabos afrouxados ao leito oceânico. Na representação ilustrada na Figura 7.6 é possível visualizar sua configuração e a afixação no fundo do mar.

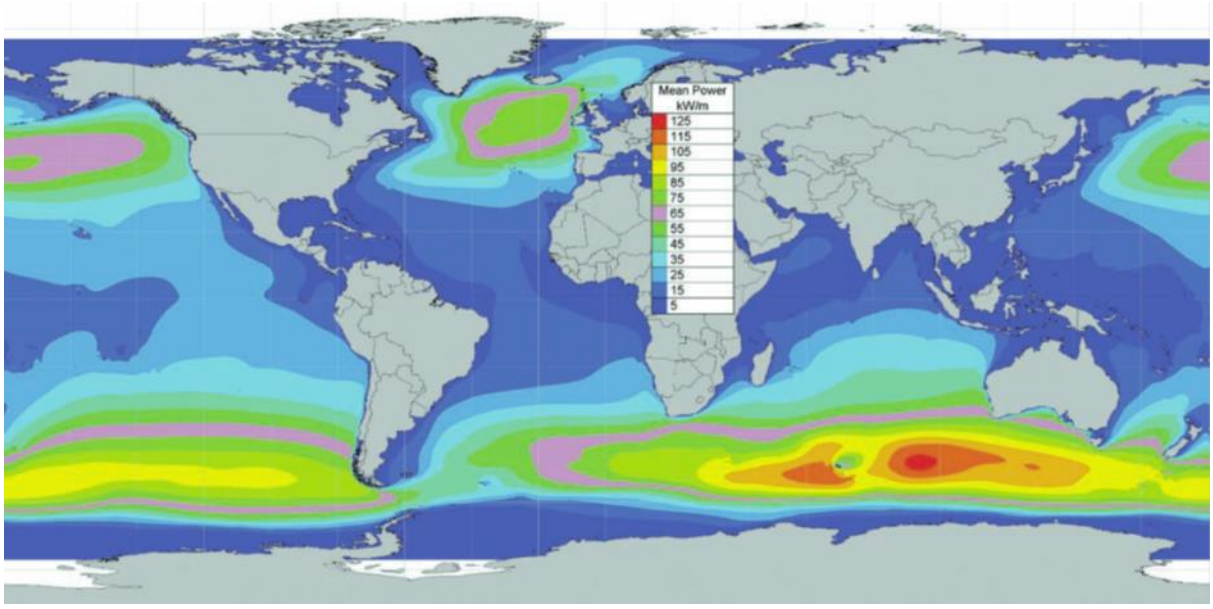
Figura 7.6 – Sistema de galgamento flutuante



Fonte: SARMENTO E CRUZ, 2004.

Para a energia das ondas, temos um grande potencial teórico já estimado. As ondas mais energéticas são encontradas entre 30 e 60 graus de latitude e sua quantidade de energia varia de acordo com a época do ano. O mapa da Figura 7.7 ilustra a distribuição das ondas pelo seu nível de potência ao redor do mundo.

Figura 7.7 – Mapa do potencial de energia das ondas



Fonte: ESTEFEN, *et al.* 2011.

O potencial teórico estimado para locais com potencial acima de 5 kW/m e latitude inferior à 66,5 (áreas após essa latitude são congeladas e não possuem potencial significante) é de 29.500 TWh/ano, dividido por regiões do mundo, conforme Tabela 7.1 (ESTEFEN, *ET. AL*. 2011).

Tabela 7.1 – Distribuição do potencial do mundo por regiões

Região	Potencial Teórico (TWh/ano)
Europa Ocidental e do Norte	2.800
Mar Mediterrâneo e Arquipélagos do Atlântico (Açores, Cabo Verde, Canárias)	1.300
América do Norte e Groenlândia	4.000
América Central	1.500
América do Sul	4.600
África	3.500
Ásia	6.200
Austrália, Nova Zelândia e Ilhas do Pacífico	5.600
TOTAL	**29.500**

Fonte: ESTEFEN, *et al.*. 2011

O potencial técnico global é bastante inferior ao potencial teórico, estimado em aproximadamente 500 GW, considerando que os dispositivos de conversão da energia das ondas em energia elétrica possuam eficiência de 40% e que só serão instalados em locais com potenciais maiores que 30 kW/m (ESTEFEN *ET. AL.*, 2011).

7.3.1.5 Custos

Em relação aos custos para a energia gerada a partir das ondas temos um custo bastante variável, que dependerá de qual tipo de tecnologia será empregada.

Para o investimento inicial, temos um custo variando entre USD 6.200 e 16.100 por kW instalado e um custo de O & M de USD 180 por kW instalado. O preço estimado para a energia elétrica gerada é entre USD cents 21 e 79 por kWh (ESTEFEN, et. al. 2011).

7.3.2 Variação de Maré

As águas do mar possuem um movimento influenciado pelos campos gravitacionais da terra, da lua e do sol, esse movimento é denominado maré e como existe a alteração da quantidade de água, podemos usar esse fator para o aproveitamento da energia do movimento da água (CUNHA E ONOFREI, 2014).

As marés variam entre marés altas e marés baixas e essa variação ocorre de 12 em 12 horas aproximadamente e devido a essa variação, temos fluxo de água em dois sentidos, o que pode favorecer ou desfavorecer dependendo do tipo de aproveitamento a ser utilizado.

Os aproveitamentos utilizados são através de barragens, de modo semelhante a uma hidrelétrica ou então por turbinas colocadas no fundo do mar que estarão descritas no item Corrente Oceânica e de Maré (ESTEFEN, 2012; SARMENTO E CRUZ, 2004).

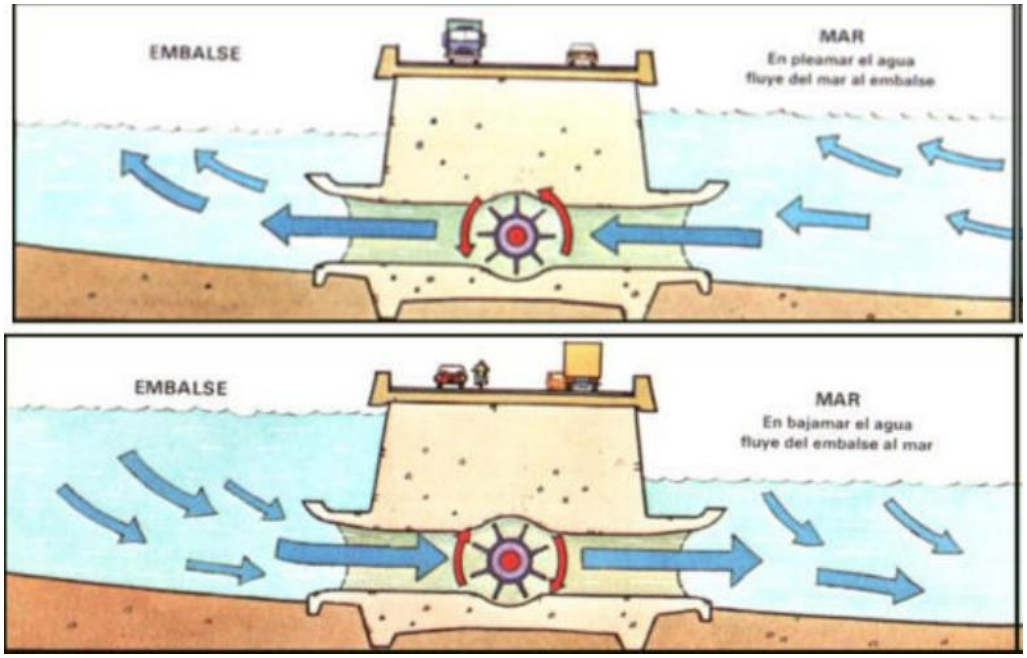
Para o aproveitamento com barragens, é preciso que haja uma diferença entre as marés altas e as marés baixas de no mínimo 5,5 metros, as correntes das marés precisam ser fortes e um local apropriado para a construção do reservatório (COGEDIR, 2014).

Com a subida da maré, a água passa pela turbina, enchendo o reservatório e gerando energia. Com a descida da maré, a água do reservatório é liberada, passando novamente pela turbina e gerando energia, o que é uma grande vantagem da tecnologia, pois é possível gerar energia duas vezes com a mesma massa de água (COGEDIR, 2014). A figura 7.8 ilustra o funcionamento da barragem e a figura 7.9 mostra os dois sentidos para geração de energia.

Figura 7.8 – Barragem para aproveitamento de marés

Fonte: COGEDIR, 2014.

Figura 7.9 – Aproveitamento da energia de marés em ambos os sentidos

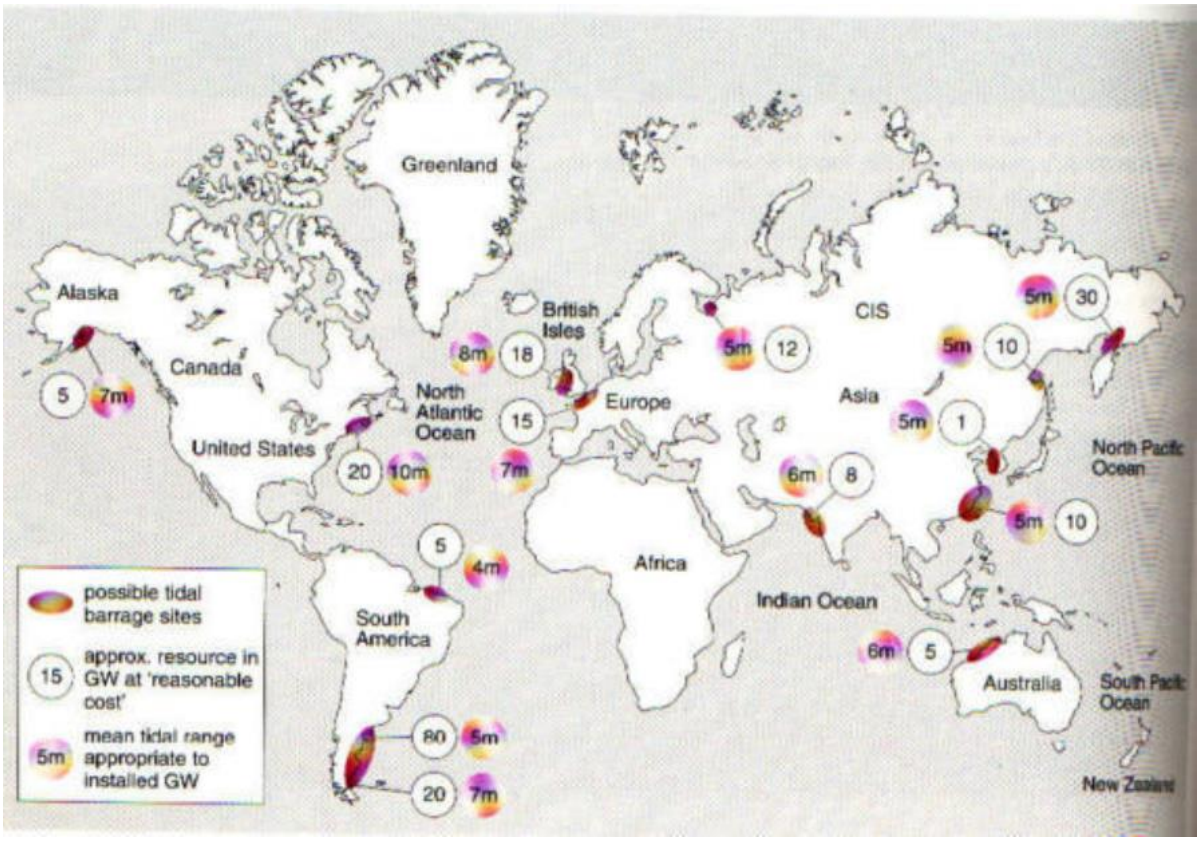


Fonte: COGEDIR, 2014.

Como mostrado anteriormente, para se tornar viável é necessário que a diferença entre as marés altas e baixas deve ser de 5,5 metros. O potencial teórico é estimado em aproximadamente 3 TW, sendo desses, 1 TW localizados em águas pouco profundas (COGEDIR, 2014).

Assim como nos outros tipos de aproveitamento o potencial teórico é bem superior ao potencial técnico viável. A figura 7.10 ilustra o mapa global com os seus possíveis potencias de geração em locais que seriam economicamente viáveis.

Figura 7.10 – Mapa com locais propícios a instalações de usinas maremotrize



Fonte: COGEDIR, 2014.

7.3.2.1 Custos

Os custos para a energia gerada através da tecnologia utilizando a variação de maré tem como investimento inicial entre USD 4.500 e 5.000 por kW instalado, um custo de O&M de USD 100 por kW instalado. O preço da energia gerada não está disponível para está tecnologia (ESTEFEN, et. al. 2011).

7.3.3 Corrente Oceânica e de Maré

O aproveitamento das correntes oceânicas ocorre da mesma forma que ocorre o aproveitamento das correntes de maré, ou seja, é aproveitada a energia que a água em movimento possui para a geração de energia elétrica através de turbinas. (ESTEFEN, *ET. AL.*, 2011).

Para o aproveitamento das correntes de maré para geração de energia é necessário que se tenha uma velocidade mínima de 1 m/s e são empregados normalmente em áreas com baixas profundidades, ou seja, em regiões próximas à costa. São inseridas turbinas embaixo das águas, sendo na maioria dos casos fixada no fundo do mar (COGEDIR, 2014).

A principal característica dessas turbinas é que ela gere energia com o fluxo de água nos dois sentidos, pois, assim como na barragem, a água na subida da maré tem um sentido e na descida da maré o sentido oposto (COGEDIR, 2014).

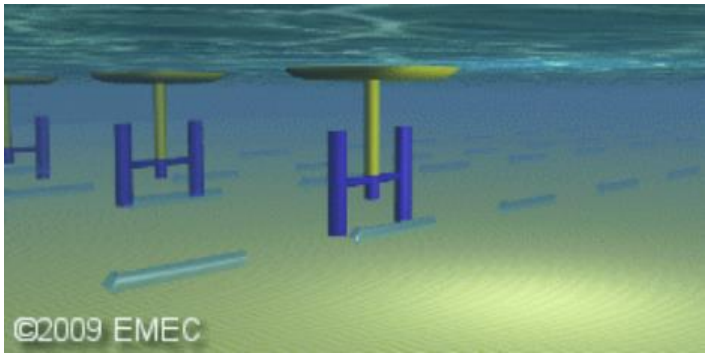
Uma vantagem do aproveitamento em correntes oceânicas em relação ao aproveitamento das correntes de maré é que para as oceânicas a turbina só precisa gerar em um único sentido, pois as correntes oceânicas são conhecidas e seus sentidos são conhecidos (ESTEFEN, et. al. 2011).

As figuras 7.11 e 7.12 mostram os aproveitamentos por em turbinas de eixo vertical e eixo horizontal.

Figura 7.11 – Aproveitamento em turbinas de eixo vertical

Fonte: COGEDIR, 2014.

Figura 7.12 – Aproveitamento em turbinas de eixo horizontal

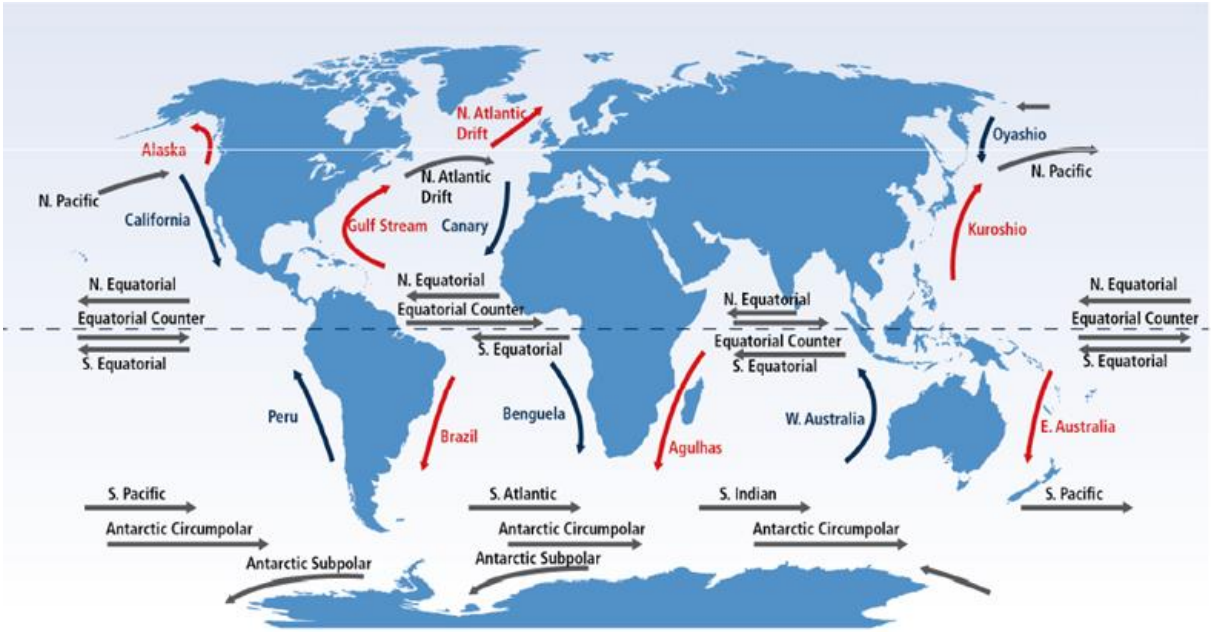


Fonte: CUNHA E ONOFREI, 2014.

Para as correntes de maré o potencial estimado ao redor do mundo é de 48 TWh/ano, com destaque para o Reino Unido que possui um número grande de locais disponíveis para implantação da tecnologia e também para a China, com cerca de 14 GW de energia (ESTEFEN, *ET. AL.* 2011).

As correntes oceânicas são provenientes da ação dos ventos e da circulação das águas em decorrência do gradiente térmico e do gradiente de salinidade. A figura 7.13 mostra as principais correntes já mapeadas (ESTEFEN, 2012).

Figura 7.13 – Mapa correntes oceânicas



Fonte: ESTEFEN, 2012.

O potencial mundial foi estimado em 55 GW por estudos feitos no Reino Unido e em outros locais da Europa. O Reino Unido possui cerca de 15% de todo o recurso mundial e a Europa como um todo cerca de 25% desse recurso. A corrente da Flórida também possui um potencial grande já mapeado.

7.3.3.1 Custos

Para as tecnologias de corrente oceânica e corrente de maré os custos são bastante parecidos devido ao aproveitamento ser realizado a partir do mesmo principio.

O custo inicial do investimento está entre USD 5.400 e 14.300 por kW instalado e um custo de O&M de USD 140 por kW instalado. O preço da energia gerada está entre USD cents 16 e 32 por kWh (ESTEFEN, et. al. 2011).

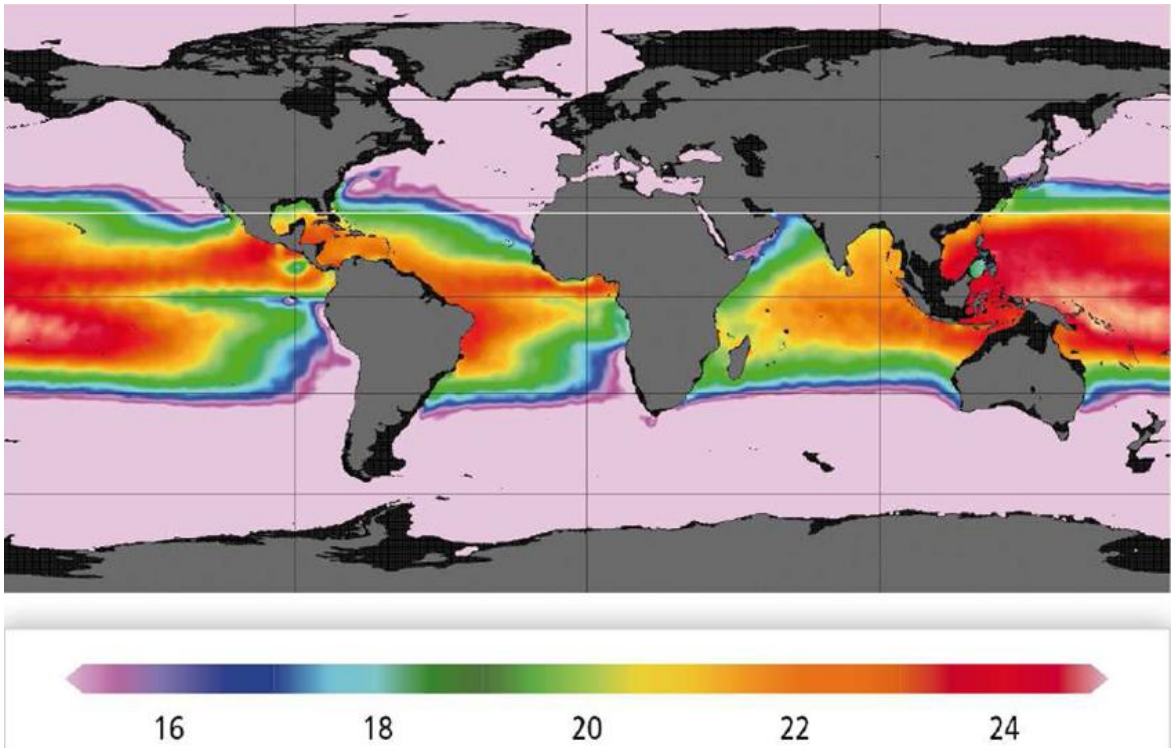
7.3.4 Gradiente Térmico

Em todo o oceano existem diferenças das temperaturas em águas superficiais e águas abaixo da superfície, essa diferença de temperatura pode ser utilizada para a geração de energia utilizando ciclos térmicos que aproveitem o calor para vaporizar um fluido, que passará por uma turbina e irá gerar energia elétrica (CUNHA E ONOFREI, 2014).

Para ser viável economicamente a tecnologia deve ser implantada em locais com diferença de temperatura de aproximadamente 20ºC ou mais da água quente em relação à água fria e com a captação da água fria em profundidades inferiores a 100 metros. A região onde a diferença de temperatura é maior no globo terrestre é a região entre os trópicos, próxima à linha do equador, fornecendo assim um potencial bastante elevado para geração de energia.

A figura 7.14 mostra as diferenças de temperatura existentes e as regiões destacadas em vermelho apresentam os maiores potenciais.

Figura 7.14 – Mapa diferença de temperaturas nos oceanos



Fonte: ESTEFEN, 2012.

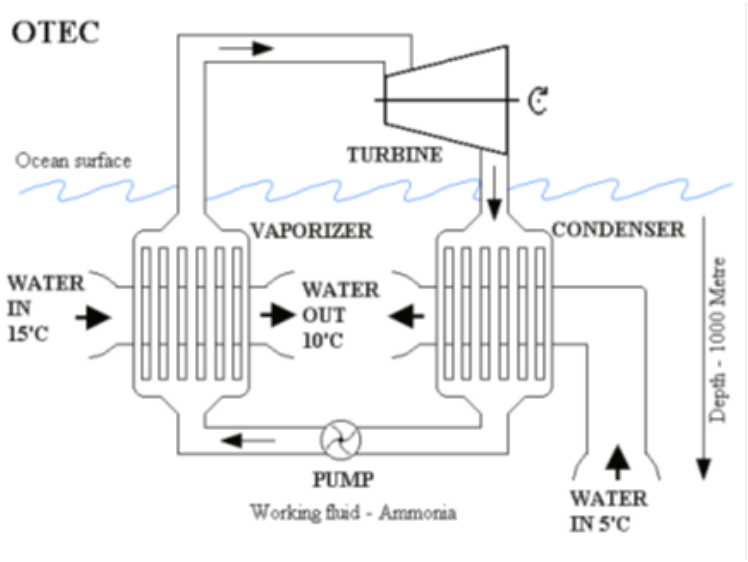
O potencial teórico é bastante superior se comparado às outras formas de aproveitamento da energia oceânica e foi calculado em torno de 44000 TWh/ano, porém podem ser aproveitados até 88000 TWh/ano de energia. O potencial que realmente deve ser aproveitado está em valores bastante inferiores a esses ditos, devido à baixa eficiência do processo, em torno de 7% (ESTEFEN, et. al. 2011).

O aproveitamento do gradiente térmico ocorre com o uso do calor da água quente, retirada da superfície para aquecimento de um fluido com baixo ponto de ebulição, que se expande, movimentando uma turbina. A água fria retirada de águas mais profundas (em até 100 metros) é utilizada para condensar o fluido de trabalho novamente para que ele possa ser utilizado novamente (CUNHA E ONOFREI, 2014).

Esse aproveitamento pode ocorrer de três formas, sendo elas, em ciclo fechado, ciclo aberto ou ciclo hibrido (misto), a diferença entre elas é apenas como será usado o fluido de trabalho. No sistema de ciclo fechado, a água é usada para aquecer um líquido com baixo ponto de ebulição que irá ser o fluido de trabalho do sistema. No sistema de ciclo aberta, a água é vaporizada em um reservatório de baixa pressão, sendo utilizada diretamente como fluido de trabalho. No sistema de ciclo hibrido ou misto, a água é vaporizada em um reservatório de baixa pressão e então passa em um trocador de calor para vaporizar um fluido com baixo ponto de ebulição que é usado para a geração de energia elétrica. Nos três casos a água fria é utilizada para resfriar novamente o fluido de trabalho (CUNHA E ONOFREI, 2014).

A figura 7.15 mostra a operação de uma usina operando em sistema de ciclo fechado.

Figura 7.15 – Esquema Usina de Ciclo Fechado



Fonte: CUNHA E ONOFREI, 2014.

7.3.4.1 Custos

Em relação aos custos relacionados ao aproveitamento pelo gradiente térmico, temos um custo inicial estimado em USD 32.500 por kW instalado. Como a tecnologia ainda está em um estado muito inicial, esse valor pode não ser completamente compatível com a realidade que será encontrada. Os custos de O&M não estão disponíveis ainda, assim como o preço para a energia gerada (ESTEFEN, et. al. 2011).

7.3.5 Gradiente de Salinidade

O aproveitamento de energia pela diferença de salinidade ocorre devido à diferença da composição entre a água do mar e a água doce e, portanto deverá ser aproveitado na foz do rio no encontro com o mar, pois é o único local que pode fornecer naturalmente os dois tipos de água.

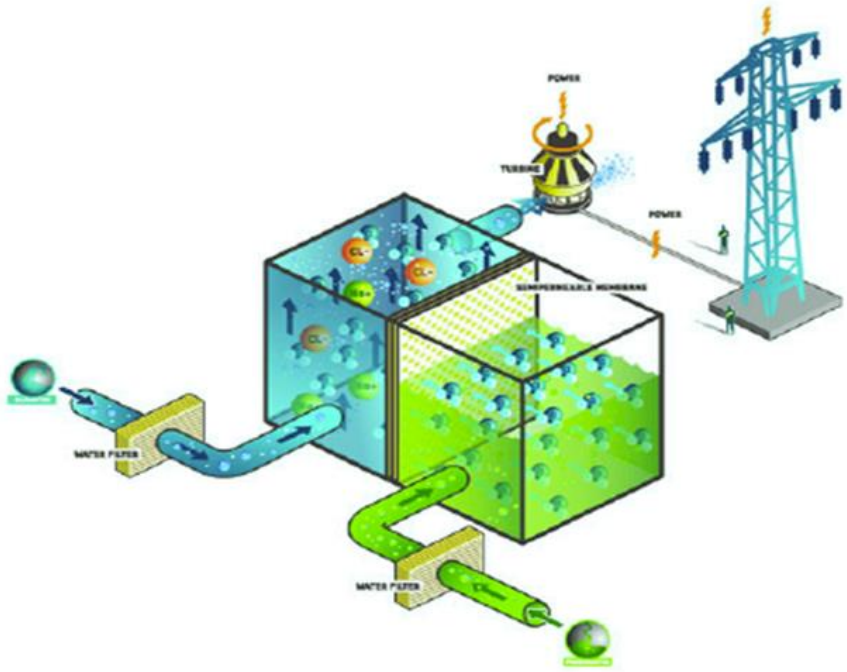
Existem duas principais tecnologias já conhecidas para o aproveitamento do gradiente de salinidade, sendo elas, a eletrodiálise reversa (RED) e osmose a pressão retardada (PRO). Os dois processos utilizam duas câmaras separadas por membranas semipermeáveis (CUNHA E ONOFREI, 2014).

O aproveitamento por RED ocorre através da migração de íons de sal, por osmose através da membrana, criando uma corrente de baixa voltagem. É possível associá-las, colocando várias membranas em sequência para fornecer uma maior quantidade de energia (CUNHA E ONOFREI, 2014).

O aproveitamento por PRO ocorre pela migração de água por uma membrana mais permeável a água do que ao sal, assim a quantidade de água será maior em um dos lados da câmera, aumentando a sua pressão. A água pressurizada passará por uma turbina que conectada a um gerador produz eletricidade.

A figura 7.16 ilustra o aproveitamento para geração de energia elétrica através do sistema PRO.

Figura 7.16 – Esquema sistema PRO



Fonte: CUNHA E ONOFREI, 2014.

Para a energia gerada pelo gradiente de salinidade, temos um potencial técnico para a geração de energia de aproximadamente 1650 TWh/ano, podendo gerar energia de base, pois é uma energia constante e independe de fatores climáticos ou influencias externas, considerando que sempre haverá diferença de salinidade entre a água do rio e a do mar (ESTEFEN, et. al. 2011).

7.3.5.1 Custos

Os custos relativos à energia gerada por gradiente de salinidade ainda não estão disponíveis, pois como tem-se a tecnologia praticamente só em teoria e pequenos projetos em fases de testes, não foi realizada a análise econômica da tecnologia. A estimativa é que esses custos sejam bastante superiores aos custos das demais tecnologias (ESTEFEN, et. al. 2011).

7.3.6 Aplicações em Rios

Para a aplicação em rios, apenas as tecnologias que aproveitam a energia cinética da água poderão ser consideradas para o uso. No rio não temos movimento de ondas, apenas o movimento da corrente de descida do rio, não existe também diferença de salinidade, o gradiente térmico que existe é insignificante para a geração de energia e não existe variação da altura do rio de forma constante como as marés.

Portanto, o aproveitamento só pode ser realizado em tecnologias semelhantes à corrente oceânica e de maré, com instalação de turbinas ao longo do curso do rio para que com o curso da água essas turbinas sejam movimentadas e possam gerar energia.

Os vários tipos de turbinas disponíveis poderiam ser colocadas ao longo do rio, de maneira a aproveitar a sua vazão sem grandes impactos como o de usinas hidrelétricas. Existem vários modelos de turbinas que poderiam ser

inseridas para a geração de energia, turbinas de eixo horizontal, vertical, de centro aberto, sendo escolhida de acordo com a necessidade do local.

Sistemas flutuantes estão sendo desenvolvidos e podem ser inseridos pontualmente, em locais onde haja um bom fluxo de água, boa largura e profundidade, sendo favoráveis a esse tipo de exploração. Os sistemas podem ser instalados também próximos a locais onde seja fácil a conexão em redes de transmissão, diminuindo custos e as perdas.

7.4 Locais de estudo e principais empresas

As tecnologias de aproveitamento da energia dos oceanos estão em sua maioria em fases iniciais de pesquisa, com muitos estudos na área, objetivando um melhor entendimento das tecnologias disponíveis e consequentemente o desenvolvimento de formas mais viáveis para a geração de energia elétrica.

Diversos países já possuem estudos avançados e estruturas em funcionamento e gerando energia. Os estudos e a instalação de tecnologias para aproveitamento da energia oceânica nos últimos anos foram desenvolvidos principalmente por países, que em 2003, assinaram um acordo com a Agência Internacional de Energia, com a finalidade de promover uma cooperação internacional para desenvolvimento de tecnologias. Os países que assinaram o acordo foram Canadá, Dinamarca, Irlanda, Japão, Portugal e Reino Unido e alguns outros como, França, Itália, México, Nova Zelândia e Estados Unidos demonstram bastante interesse em também realizar o acordo (FISCHER, 2014).

Algumas universidades desenvolvem estudos em programas de pós-graduação, mestrado e doutorado na área de energia oceânica em parceria com grandes empresas do setor, a UFRJ é a principal no Brasil no estudo. Ao redor do mundo temos a University of Miami, o MIT, a Universidade Valladolid, Cardiff University, a Norwegian University of Science and Technology, Aalborg University, Uppsala University, The University of Edinburgh, Heriot-Watt University, University of Strathclyde, University of Exeter, University of Southampton, Lancaster University, The University of Manchester, University of Oxford, University of Plymouth, University College Cork, Queen's University Belfast, Swansea University, Ecole Centrale de Nantes, Technische Universität München, Gent University, Instituto Superior Técnico, Delft University of Technology, Universidad de La Laguna, Tenerife, Oregon State University, The University of Texas at Austin e The University of Iowa, como alguns exemplos de universidades que estudam assuntos relacionados a energia oceânica, maioria delas localizadas no Reino Unido, país onde a tecnologia possui um elevado grau de desenvolvimento (OPEN WAVE ENERGY, 2014).

As principais empresas que atuam na área de energia oceânica estão concentradas principalmente na Europa, mas possuem projetos em diversos locais do mundo. Segue abaixo na Tabela 7.2 um levantamento realizado com algumas das principais empresas que atuam na área, o tipo de aproveitamento que as empresas realizam, o site para acesso a mais informações e o país no qual estão localizadas.

Tabela 7.2 – Empresas Energia Oceânica

Empresa	Tipo de Aproveitamento	Site	País
Oceanflow Energy	Corrente Oceânica, Marés e Rios	http://www.oceanflowenergy.com/	Reino Unido
ANDRITZ HYDRO Hammerfest	Corrente de Marés	http://www.hammerfeststrom.com/	Noruega e Escócia
Marine Current Turbines	Corrente de Marés	http://www.marineturbines.com/	Reino Unido
OpenHydro	Corrente de Marés	http://www.openhydro.com/	Irlanda
Swanturbines	Corrente Oceânica e de Marés	http://www.swanturbines.co.uk/	País de Gales
Alstom	Corrente Oceânica e de Marés	http://www.alstom.com/	França
Verdant Power	Corrente Oceânica e de Marés	http://www.verdantpower.com/	Estados Unidos
Atlantisstrom	Marés	http://www.atlantisstrom.de/	Alemanha
Hales Energy	Corrente de Marés	http://www.hales-turbine.co.uk/	Inglaterra
Scot Renewables	Corrente Oceânica, Marés e Rios	http://www.scotrenewables.com/	Escócia
Voith Hydro Wavegen Limited	Ondas	http://www.wavegen.co.uk	Escócia
Pelamis Wave Power	Ondas	http://www.pelamiswave.com/	Escócia
Siemens AG	Corrente Oceânica e de Marés	http://www.energy.siemens.com/	Alemanha
Lockheed Martin	Energia Oceânica	http://www.lockheedmartin.com/	Estados Unidos
AWS Ocean Energy	Ondas e Marés	http://www.awsocean.com/	Escócia
SKF	Energia Oceânica	http://www.skf.com/	Escócia
Blue Energy	Marés	http://www.bluenergy.com/	Canadá
Lucid Energy	Energia Oceânica	http://www.lucidenergy.com/	Estados Unidos
New Energy	Corrente Oceânica e de Marés	http://www.newenergycorp.ca/	Canadá
IHC EB	Energia Oceânica	http://www.ihceb.com/	Inglaterra
Bio Power Systems	Energia Oceânica	http://www.biopowersystems.com/	Austrália
Clean Current	Corrente Oceânica, Marés e Rios	http://www.cleancurrent.com/	Canadá
Lunar Energy	Marés	http://www.lunarenergy.co.uk/	Reino Unido
Kepler Energy	Corrente Oceânica e de Marés	http://www.keplerenergy.co.uk/	Reino Unido
Blue Water	Corrente Oceânica, Marés e Rios	http://www.bluewater.com/	Holanda

Fonte: O autor, 2014.

No Brasil, a tecnologia ainda é pouco aproveitada, porém possui alguns estudos na área, realizados quase em sua totalidade pela COPPE/UFRJ (Instituto de Pós-graduação e pesquisa da Universidade Federal do Rio de Janeiro) coordenado pelo professor Segen Estefen, um dos principais estudiosos na área de Energia Oceânica (MOTA, 2012).

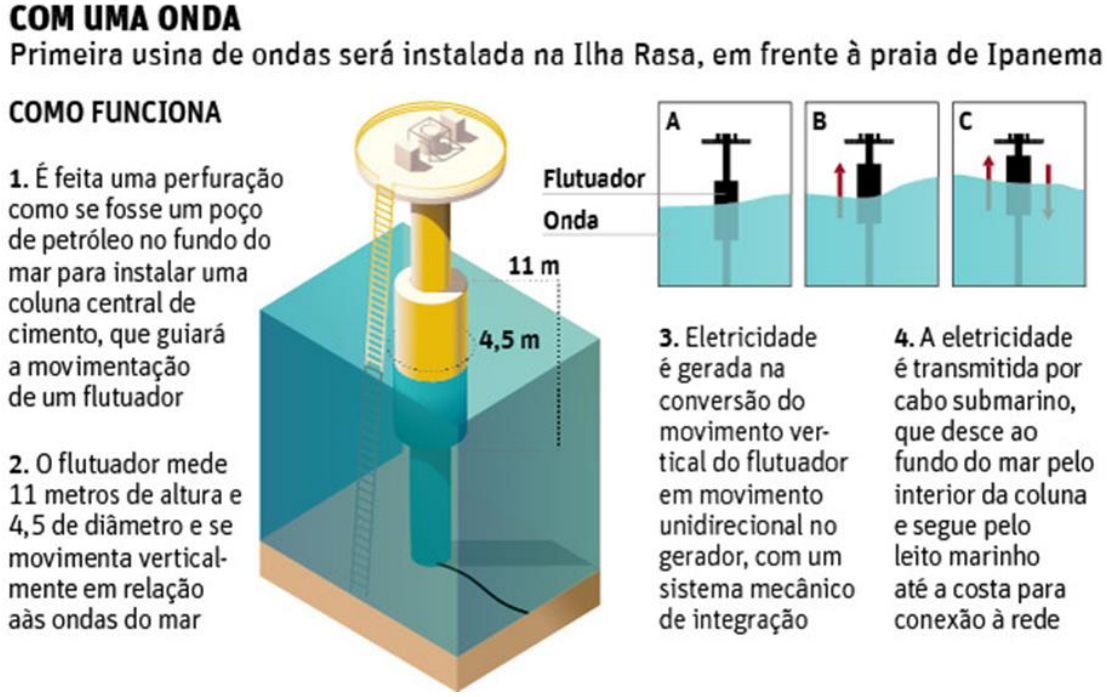
Um projeto pioneiro foi instalado no estado do Ceará, com apoio da Tractebel Energia e da Eletrobrás, em parceria com a COPPE, que consiste em flutuadores instalados na costa que em contato com a oscilação das ondas aciona bombas hidráulicas através de água contida em um circuito fechado e em alta pressão dentro do sistema, possibilitando a geração de energia (MOTA, 2012). A figura 7.17 mostra o sistema já instalado no Porto de Pecém – Ceará.

Figura 7.17 – Sistema Porto de Pecém – Ceará

Fonte: MOTA, 2012

Outro projeto também está em desenvolvimento pela COPPE, com parceria com Furnas e a *Seahorse Wave Energy* consiste em uma usina para o aproveitamento de ondas, localizada próxima a Ilha Rasa, em frente à praia de Ipanema, no Rio de Janeiro. A figura 7.18 ilustra como é o funcionamento do sistema para geração de energia elétrica (LUNA, 2013).

Figura 7.18 – Funcionamento usina de ondas da Ilha Rasa



Fonte: LUNA, 2013

7.5 Aspectos positivos e negativos da tecnologia

Para a implantação de qualquer dispositivo para a conversão de energia é preciso realizar uma análise de seus aspectos e impactos positivos e possíveis aspectos e impactos negativos, com o objetivo de reduzir ou mitigar os aspectos negativos e usar os positivos como forma de atrair investidores para a tecnologia.

Como são vários tipos de aproveitamento para a energia oceânica, o levantamento de aspectos positivos e negativos foi realizado para a tecnologia como um todo, evidenciando os principais problemas que a tecnologia poderia causar e os seus principais aspectos positivos.

Os atuais problemas do mundo com a emissão de gases causadores do aumento do efeito estufa e por consequência o aumento da temperatura média do globo terrestre tem impacto direto nos oceanos. O aquecimento global faz com que ocorra o aumento da temperatura da água dos oceanos e também o derretimento de calotas polares, que por sua vez influenciam no nível dos oceanos, podendo em um futuro, invadir cidades litorâneas e causar outros desastres naturais, como tufões e terremotos (SUA PESQUISA, 2014 e CAMADA DE OZONIO, 2014).

Com relação aos impactos causados na energia dos oceanos, com o aumento da temperatura média das águas poderíamos ter um pequeno aumento no potencial de geração por gradiente térmico, sendo um impacto considerado positivo para a tecnologia. Já o aumento do nível dos oceanos e outros desastres naturais, podem ser prejudiciais às estruturas que venham a ser instaladas no litoral, podendo até inutilizar o aparelho, sendo considerado um impacto bastante negativo do efeito estufa e do aquecimento global na tecnologia de aproveitamento da energia dos oceanos.

Positivos

Os principais aspectos positivos para a implantação das tecnologias de aproveitamento da energia oceânica são (ESTEFEN, et. al. 2011):

- Grande potencial disponível para aproveitamento de diversas formas;
- Uso de sistemas isolados, podendo ser aproveitados em plataformas localizadas em alto mar;
- Longo prazo de vida das tecnologias;
- Não emitem Gases de Efeito Estufa na geração de energia;
- Possuem certa constância e previsibilidade, podendo ser usada como energia de base;
- Marés e ondas são fontes inesgotáveis de energia, pois são eventos que irão ocorrer sempre;
- Não apresenta grandes riscos ao meio ambiente;
- Geração de empregos para construção e manutenção de equipamentos;
- Alguns projetos podem ser atrações turísticas no local, gerando empregos em áreas relacionadas ao turismo;
- Novas rotas de transporte rodoviário no caso de barragens para aproveitamento da energia de marés.

Negativos

Os principais aspectos negativos para a implantação das tecnologias de aproveitamento da energia oceânica são (ESTEFEN, et. al. 2011):

- Grande impacto visual quando instalado na costa;
- Impacto visual baixo ou inexistente em instalações em alto mar;
- Ruídos gerados na construção e na geração de energia em alguns tipos de aproveitamento;
- Alteração da qualidade da água para usinas que utilizam o gradiente térmico;
- Alteração das características dos nutrientes presentes na água no local;
- Possível poluição das águas;
- Custo elevado para a transmissão da energia devido aos cabos submarinos;
- Modificar padrão de vida de peixes e aves do local;
- Baixa eficiência dos sistemas de aproveitamento de energia.

7.6 Custos

As tecnologias para aproveitamento do enorme potencial presente nos oceanos ainda estão em fase de desenvolvimento, com poucos lugares no mundo já possuindo alguma exploração significante, as informações sobre os custos envolvidos na tecnologia ainda são bastante limitadas.

A Tabela 7.3 mostra um comparativo entre todas as tecnologias disponíveis no oceano quanto aos seus custos iniciais, de O&M, o preço da energia gerada, vida útil do investimento e o fator de capacidade.

Tabela 7.3 – Quadro comparativo das fontes de energia dos oceanos

Fonte de Energia dos Oceanos	Custos de Investimentos (USD/kW)	Custo Anual O&M (USD/kW)	Preço da Energia (USD/kWh)	Fator de Capacidade (%)	Vida Útil de Operação (Anos)
Ondas	6.200 - 16.100	180	21 - 79	25 - 40	20
Variação de Maré	4.500 - 5.000	100	-	22,5 - 28,5	40
Corrente de Maré	5.400 - 14.300	140	16 - 32	26 - 40	20
Corrente Oceânica	5.400 - 14.300	140	16 - 32	26 - 40	20
Gradiente Térmico	32.500	-	-	-	20
Gradiente de Salinidade	-	-	-	-	20

Fonte: ESTEFEN, 2012 – (Adaptado).

Como mostra o quadro acima, temos algumas tecnologias com investimentos não muito elevados e com o desenvolvimento nos próximos anos podem ser utilizadas e difundidas ao redor do mundo nos locais que possuam bons potenciais.

A vida útil das tecnologias em geral é de 20 anos, sendo para a tecnologia de aproveitamento da variação de maré um pouco maior, cerca de 40 anos, mas podendo chegar até 100 anos dependendo do local de instalação.

O preço de venda da energia ainda não é competitivo e encontra bastante acima de outras tecnologias já encontradas, porém, com avanço tecnológico, esse preço tende a reduzir bastante podendo se igualar com as principais tecnologias.

O uso de energia oceânica também pode ocorrer em lugares mais afastados ou em plataformas em alto mar, aproveitando a tecnologia que melhor se aplicar ao local, pois mesmo com o alto custo se tornaria uma atrativa mais sustentável devido a não emissão de gases e nenhum grande efeito prejudicial ao meio ambiente.

7.7 Considerações Finais

A energia oceânica possui um potencial elevado para a geração de energia elétrica e pode em poucos anos ser parte importante da matriz energética mundial. O custo da tecnologia como um todo ainda pode ser considerado alto, mas com o desenvolvimento, ampliação do conhecimento sobre os tipos de aproveitamentos e a ampliação dos locais de instalação, esse custo tende a diminuir muito, tornando a tecnologia competitiva com as principais tecnologias usadas nos dias de hoje.

A tecnologia de aproveitamento da variação de marés é a que possui um maior desenvolvimento com uma usina de 240 MW já implantada na França. O aproveitamento é muito semelhante a uma hidrelétrica, facilitando novos sistemas a serem instalados, pois praticamente todo o conhecimento para a tecnologia já está consolidada.

O aproveitamento por correntes oceânicas e de marés também possuem potencial bastante elevado, mas o desenvolvimento por completo e consolidação da tecnologia ainda encontra problemas devido aos materiais das turbinas e o principal que é a transmissão da energia para terra, que precisa ser feita por cabos subterrâneos, tornando assim o custo do projeto mais elevado. A tecnologia tende a se desenvolver bastante, podendo também ser aproveitadas em rios e pelo fato de poder ser utilizada em plataformas em alto mar como uma fonte confiável para a geração de energia elétrica.

A energia das ondas possui vários tipos de aproveitamento, ampliando a possibilidade de desenvolvimento da tecnologia para conseguir aproveitar um grande potencial existente.

Para as tecnologias que aproveitam o gradiente térmico e de salinidade o desenvolvimento será mais complicado, pois apesar do enorme potencial existente, para o uso de gradiente térmico o custo é muito elevado se comparado a outros tipos de aproveitamento e as dificuldades de implantação do sistema também são grandes, já para o aproveitamento do gradiente de salinidade membranas mais eficientes precisam ser desenvolvidas para que seja viável a construção de alguma estrutura significativa. Essas duas formas de tecnologia provavelmente serão as que menos irão evoluir em questão de aproveitamentos futuros.

Em geral, a energia oceânica se mostra viável para uma grande expansão no futuro, os impactos gerados são pequenos e considerados de baixo potencial impactante e com o desenvolvimento da tecnologia os custos serão competitivos com os custos de outras tecnologias atuais.

Capítulo 8: Energia Geotérmica - Detalhamento da tecnologia e dos custos envolvidos[8]

Resumo: **O principal objetivo do trabalho é apresentar e comparar os custos da energia geotérmica com outras formas de geração de energia. Para isso foi realizada uma breve descrição das tecnologias para o aproveitamento da energia geotérmica disponível no mundo, além de identificar os aspectos e impactos positivos e negativos da implantação da tecnologia. Também é mostrada a caracterização do potencial para tal aproveitamento no Brasil e no mundo, identificando os países que já aproveitam essa tecnologia para a geração de energia elétrica e uso do calor além de quantificar esse aproveitamento. Ao final apresenta-se uma conclusão que podemos chegar sobre o uso da tecnologia e os investimentos necessários para sua ampliação.**

8.1 Definição

Energia geotérmica (geo: terra e térmica: calor) pode ser definida como a energia proveniente do núcleo terra, formado por rochas derretidas em altas temperaturas (magma), que em alguns pontos podem chegar até a superfície, ocorrendo assim a formação de um vulcão. Esses pontos na maioria das vezes se localizam em regiões onde há o encontro de placas tectônicas, portanto nesses locais o potencial para a obtenção de energia geotérmica é alto (SEED, 2014).

Quando não chega a superfície, o magma aquece as rochas que estão mais próximas do solo, que por sua vez podem estar em contato com a água, ou pela presença de aquíferos naturais e bolsas de água, ou por reservatórios criados pelo homem para o aproveitamento desse calor (SEED, 2014).

Os recursos geotérmicos podem ser classificados pela sua entalpia, baixa, média ou alta, respeitando valores de temperaturas. Para a entalpia baixa temos temperaturas inferiores à 90ºC, para a entalpia média valores entre 90 e 150 ºC e temperaturas acima de 150ºC são classificadas como entalpia alta (MUFFLER, P. and CATALDI, R., 1978).

Podem também ser classificado em apenas baixa e alta entalpia, de acordo com (NICHOLSON, K., 1993) sendo 150ºC o limite entre baixa e alta.

8.2 Magma

O magma é responsável pelo aquecimento das rochas presentes abaixo do solo, que por sua vez aquecem a água ou o local que será aproveitado através de recursos geotérmicos. Magma pode ser definido brevemente como uma pasta viscosa, formada pela fusão das rochas devido às altas temperaturas, entre 700 e 1200°C (MARIANO, G, 2014).

O magma é formado por 3 partes básicas, a parte líquida, composta de rocha fundida, a parte sólida composta por cristais formados pelo magma ou fragmentos sólidos que ele transporta e a parte gasosa, constituída por voláteis como H_2O, CO_2, H_2S, etc. (MARIANO, G, 2014).

Possui três principais características, composição química, temperatura e viscosidade, que serão explicadas a seguir (MARIANO, G, 2014).

A composição química do magma é em sua maioria formada pelo silício, um dos elementos mais abundantes nas rochas, o teor de SiO_2 pode variar entre 35% e 75%. Apenas alguns locais no mundo não possuem o magma não possuem essa formação (MARIANO, G, 2014).

[8] Trabalho realizado pelo estagiário Gabriel Macedo Rodarte Silva, em 2014.

A temperatura varia entre 700°C e 1200°C e é determinada principalmente pela sua composição. Quanto maior a parcela de Mg e Fe e menor a de Si maior é sua temperatura, se for em sua maioria formada de Si, sua temperatura será menor.

A viscosidade é responsável por determinar a velocidade de escoamento do magma e é inversamente proporcional à temperatura, pois a composição de Si é o fator mais determinante para o valor da viscosidade. Quanto maior for a quantidade de Si maior será a viscosidade e menor a temperatura. Quanto mais quente for o magma, menos viscoso ele será, fluindo de forma mais rápida (MARIANO, G, 2014).

O magma é formado em três principais locais, nas zonas de subducção, onde uma placa oceânica mergulha sob uma placa continental, onde a perda de voláteis em função do aumento da temperatura é responsável pela formação do magma, nas zonas divergentes, onde ocorre a separação de duas placas, dando origem à formação do assoalho oceânico, e também nas zonas chamadas Plumas quentes ou *Hot Spots*, que podem desenvolver-se no manto ou na interação entre manto e núcleo. O calor gerado nos pontos causa a fusão das rochas no manto terrestre, gerando assim o magma (MARIANO, G, 2014).

8.3 Formas para utilização

A energia geotérmica é utilizada de três principais formas, utilização direta, bombas de calor geotérmicas e Centrais Geotérmicas (GEOHOTSPOT, 2012).

Para a utilização direta, a água se encontra em baixa ou média entalpia, e pode ser utilizada para aquecimento de água para o uso em piscinas, chuveiros, indústrias, entre outros inúmeros usos possíveis. Para o aquecimento direto da água um poço é perfurado, onde se encontra água aquecida, o líquido então é tubulado para que chegue ao local onde seu calor será aproveitado, neste local existe um trocador de calor com a água para o uso, a água quente do poço aquece a água que está à temperatura ambiente na tubulação e circula nesse sistema. Após o aquecimento da tubulação, a água é devolvida para o poço, onde será aquecida novamente. Esse método é utilizado, pois como não há manipulação da água, ela não estará contaminada ao ser devolvida para o solo e com isso não afetará o local. Em sistemas antigos a água era retirada diretamente, porém com a falta de reposição da água ao poço, o recurso iria se esgotar brevemente e também poderia causar problemas no solo. Nos tempos de hoje, a água é utilizada apenas no trocador de calor, sendo injetada rapidamente no reservatório, não prejudicando o solo prolongando a duração do poço (SEED, 2014; ENERGIAS ALTERNATIVASWEBNODE, 2014; BCDJMENERGIA BLOGSPOT, 2009).

As bombas de calor geotérmicas utilizam o mesmo princípio descrito acima, porém seu calor é aproveitado para aquecimento ou resfriamento de ambientes. Entre 30 e 122 metros abaixo da superfície aproximadamente, a temperatura se estabiliza entre 7 ºC e 21 ºC. Desse modo, é possível que seja utilizado um sistema para resfriamento no verão, que funciona com a troca de calor da água em temperatura inferior à temperatura ambiente, com isso ela retira calor do ambiente e leva esse calor para o subsolo. De modo análogo, no inverno é possível retirar calor do solo e enviar para o ambiente através da água, que é devolvida ao reservatório para ser aquecida novamente. Parte do calor removido do ambiente pode ser utilizado para aquecer água (SEED, 2014; ENERGIAS ALTERNATIVASWEBNODE, 2014; BCDJMENERGIA BLOGSPOT, 2009).

Sistemas de bombas de calor geotérmicas possuem a vantagem de poder ser utilizado em qualquer época do ano e de não atrapalhar o solo nem contaminar o poço que contém a água, pois a água é utilizada apenas para troca de calor, não havendo nenhum consumo.

Para as Centrais Geotérmicas, a energia contida no subsolo é aproveitada para a geração de energia elétrica. Os aproveitamentos ocorrem principalmente de três formas (SEED, 2014).

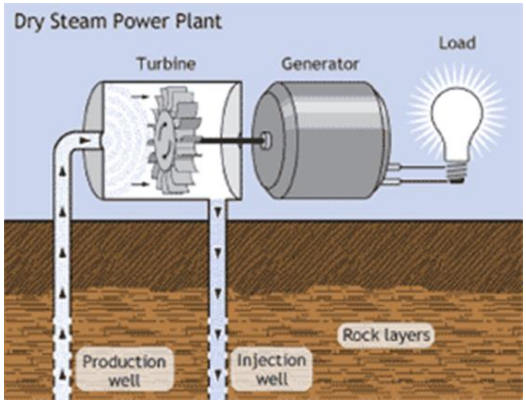
A primeira utiliza um local em que haja calor suficiente no solo para o aquecimento da água, não é necessário que exista água no local, pois será furado um reservatório que será utilizado para o aquecimento da água (SEED, 2014).

Outra forma que pode ser utilizada é realizar a perfuração de um poço até um local aonde exista água, sendo essa água seja utilizada para trocar calor com algum outro fluido de baixo ponto de ebulição ou até mesmo água, no processo de "vapor *flash*" em um trocador de calor na superfície (SEED, 2014).

A terceira forma é a menos utilizada, pois, necessita de fontes de vapores direto e com pressão suficiente para movimentar as turbinas. Essas fontes são muito difíceis de serem encontradas com potencial para a produção de energia (SEED, 2014).

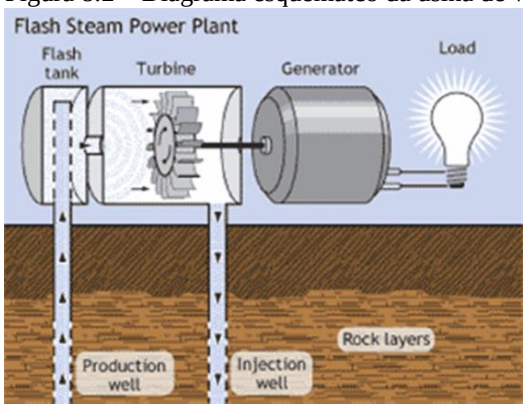
Para os três aproveitamentos possíveis, a geração de energia ocorre de forma semelhante a uma termoelétrica convencional. Os três diagramas abaixo ilustram o funcionamento da usina. As imagens foram disponibilizadas pelo *U.S. Department of Energy* (SEED, 2014).

Figura 8.1 – Diagrama esquemático da usina de vapor direto



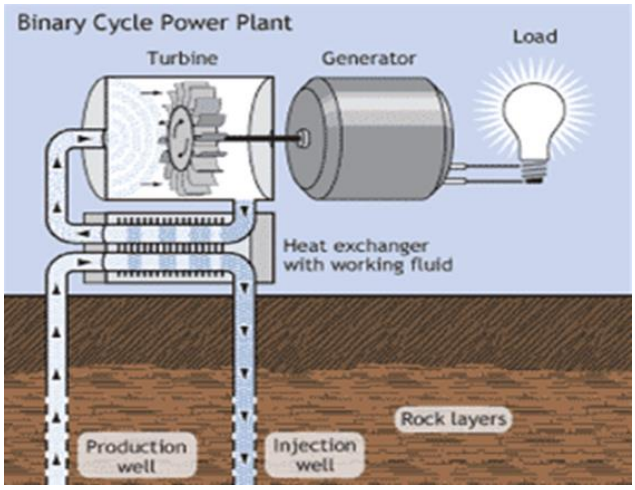
Fonte: SEED, 2014.

Figura 8.2 – Diagrama esquemátco da usina de vapor em *flash*



Fonte: SEED, 2014.

Figura 8.3 – Diagrama esquemático da usina de ciclo binário



Fonte: SEED, 2014.

A maior usina geotérmica em funcionamento no mundo se chama "*The Geysers*" e funciona a partir de vapor retirado diretamente do solo. Ela se localiza em Santa Rosa, Califórnia, nos EUA. A usina tem capacidade instalada de 1517 MW e produz cerca de 950 MW, operando com fator de capacidade de aproximadamente 63% (*THE GEYSERS*, 2014).

O esquema que será mostrado abaixo ilustra o funcionamento da planta de *The Geysers*.

Figura 8.4 – Esquema de funcionamento usina *The Geyser*

Fonte: *THE GEYSERS*, 2014.

8.4 Aspectos positivos e negativos da tecnologia

Assim como em toda tecnologia para a geração de energia, a energia geotérmica terá aspectos positivos e aspectos negativos no seu processo. Os principais, relacionados à energia geotérmica, serão citados abaixo (GEOHOTSPOT, 2012; ENERGIAS EVOLUTIVAS BLOGSPOT, 2014; INFORMATION FOR ACTION, 2014; BCDJMENERGIA BLOGSPOT).

Positivos

- Energia considerada limpa por ter emissão praticamente nula de gases poluentes;
- Pode ser usada em comunidades isoladas sem necessidade de conexão ao sistema elétrico;
- Pode contribuir com o crescimento da região em que a tecnologia será implantada;
- Área de instalação da usina é pequena, em média 400 m²;
- Pode produzir energia 24 horas por dia e independente de fatores climáticos externos;
- Baixo custo de operação e do uso do combustível.

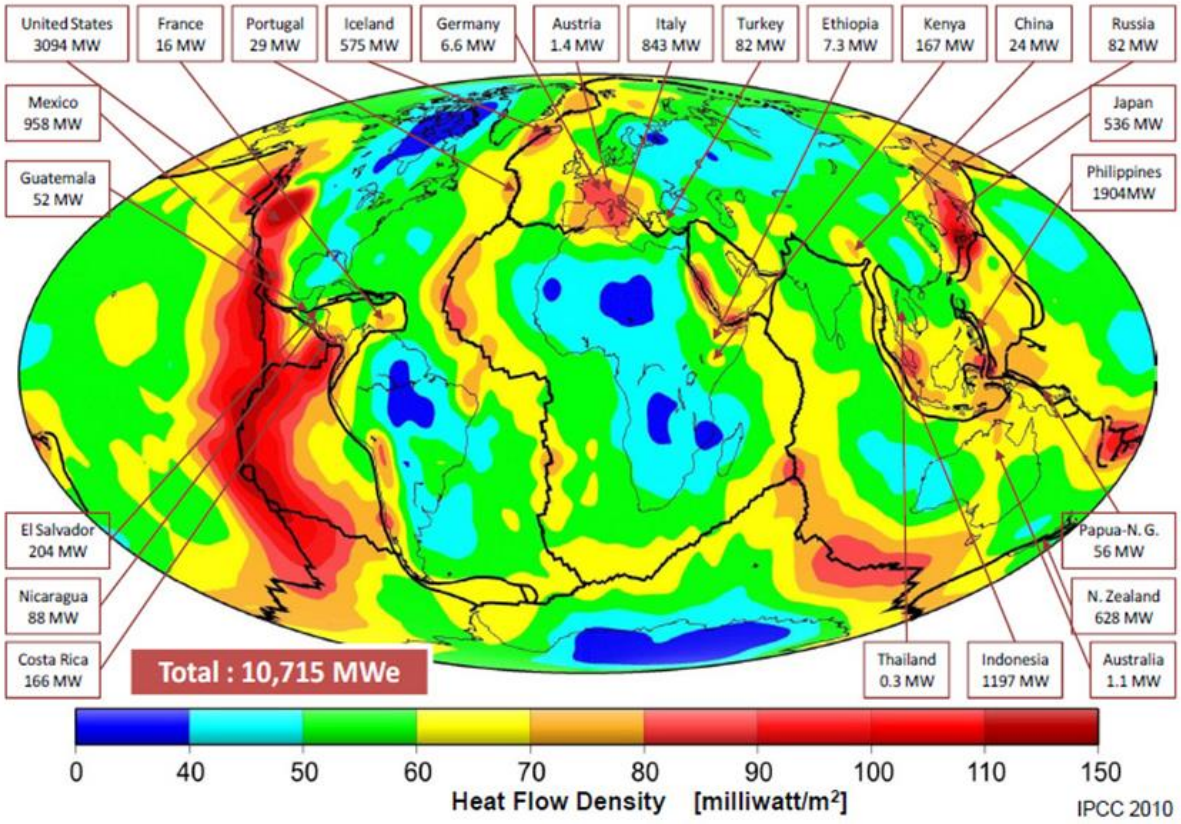
Negativos

- Área restrita para implantação da tecnologia, não é encontrado em todos os países;
- Pode levar o reservatório geotérmico ao esgotamento, quando a quantidade de água/vapor retirados for maior do que a capacidade natural ou artificial de recarga;
- Alto custo para implantação da tecnologia com pesquisas e investimentos iniciais;
- Emissão de ácido sulfídrico (H_2S) em alguns casos, que é corrosivo, nocivo à saúde e possui odor desagradável;
- Se o estudo do local for feito de forma errada, pode causar problemas de instabilidade geológica;
- Tratamento da água precisa ser feito, pois pode contar inúmeros minérios prejudiciais à saúde;
- Poluição sonora e transtornos causados por máquinas na fase de construção da usina geotérmica.

8.5 Potencial mundial e no Brasil

Atualmente a energia geotérmica é aproveitada para a geração de energia elétrica em 24 países no mundo e o avanço da tecnologia tem sido considerável nos últimos anos. O mapa abaixo mostra o potencial mundial, o local da instalação e qual a potência instalada em cada país (CONHEÇA ENERGIA GEOTÉRMICA BLOGSPOT, 2013).

Figura 8.5 – Mapa do potencial e da potência instalada no mundo



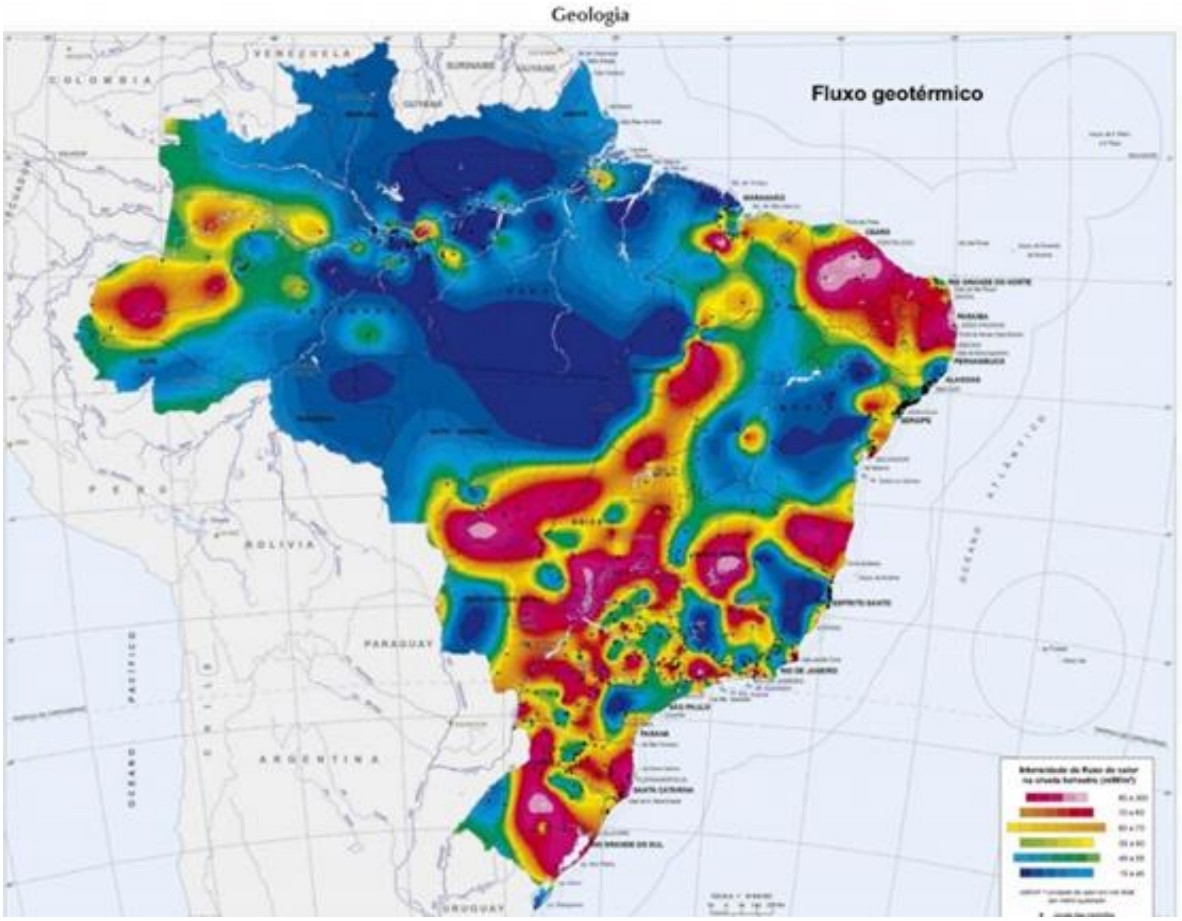
Fonte: CONHEÇA A ENERGIA GEOTÉRMICA BLOGSPOT, 2013.

A potência instalada em todo o mundo é de 10.715 MW, desse total, os países com maior produção de energia elétrica por fonte geotérmica são, em ordem, EUA, Filipinas, Indonésia, México e Itália. A Islândia, o Japão e a Nova Zelândia também possuem números consideráveis já instalados (CONHEÇA ENERGIA GEOTÉRMICA BLOGSPOT, 2013).

As áreas destacadas em tons de vermelho no mapa são áreas com maior potencial geotérmico, que coincidem com o encontro das placas tectônicas na crosta terrestre. Como pode ser visto na figura, o Brasil não possui um potencial elevado para energia geotérmica, o principal fator para isso é a localização do país no meio da placa tectônica Sul Americana. (CONHEÇA ENERGIA GEOTÉRMICA BLOGSPOT, 2013).

O potencial pequeno que o Brasil possui está disponível em apenas algumas regiões, como é mostrado na figura abaixo, com temperaturas de no máximo 100 ºC. Ainda não existe uso de fontes geotérmicas para a geração de energia elétrica no país. O recurso é utilizado no país apenas no uso direto da água para a indústria ou para lazer (IBGE, 2010).

Figura 8.6 – Mapa de fluxo geotérmico no Brasil



Fonte: IBGE, 2010.

8.6 Custos

O aproveitamento geotérmico para a geração de energia elétrica ainda é considerado um processo caro em comparação com outras fontes de energia, devido ao seu custo inicial ser muito alto. Em contra partida, como não existe custo com combustível, esse valor inicial elevado pode ser balanceado, tornando a geração de energia mais barata (EHOW, 2014).

O custo inicial é a parte mais significativa do projeto, pois exigem diversas atividades cuja realização é complexa, como, exploração e avaliação para a localização de uma fonte viável, compra da terra para a implantação da usina, perfuração de poços, construção de dutos, estrutura da usina geradora, geradores e turbinas. Esses custos iniciais variam de projeto para projeto, mas pode ser adotado um valor médio de US$ 2500,00 por kW instalado. Para uma usina de pequeno porte esse custo seria maior, variando de US$ 3000,00 a US$ 5000,00 por kW. Em compensação, o custo de operação e manutenção é baixo, varia de US$ 0,01 a US$ 0,03 por kWh (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2014; EHOW, 2014).

Os custos para a implantação das usinas são variáveis e dependentes diretamente de alguns fatores relacionados ao tamanho da usina, ao tipo de tecnologia que será utilizada, ao local escolhido, entre outros. Esses custos po-

dem ser divididos em quatro principais fatores, são eles, exploração e recurso de confirmação, perfuração do poço, instalações na superfície e usina.

A exploração e recurso de confirmação e a perfuração do poço compõem a principal e decisiva fase de implantação da usina, sendo responsáveis por algo em torno de 35% a 50% do custo inicial. As instalações na superfície da usina geradora possui a menor parte relativa aos custos, cerca de 10% a 20%. Os custos com a usina, geradores e turbinas compõem o restante dos custos, entre 40% e 55% do custo inicial.

Um fator considerável é que o fator de capacidade de uma usina geotérmica é alto, mais que 90%, fazendo com que o aproveitamento da energia disponível seja maior, reduzindo assim o custo para a venda dessa energia.

O custo da energia gerada por kWh é entre US$ 0,05 e US$ 0,08 aproximadamente. A comparação com outras fontes de energia pode ser vista na tabela abaixo (EVOLUÇÃO ENERGIA EÓLICA WORDPRESS, 2014).

Tabela 8.1 – Quadro comparativo de fontes de energia

Comparação de custos de energia	
Tipo de recurso	Custo médio (centavos de US$ por kWh gerado)
Hidrelétrica	2 -- 5
Nuclear	3 -- 4
Carvão	4 -- 5
Gás Natural	4 -- 5
Vento	4 -- 10
Geotérmica	5 -- 8
Biomassa	8 -- 12
Célula de Hidrogênio	10 -- 15
Solar	15 -- 32

Fonte: EVOLUÇÃO ENERGIA EÓLICA WORDPRESS, 2014.

8.7 Conclusão

A energia geotérmica pode ser considerada uma energia eficiente, suas centrais operam mais de 90% do tempo, oferecendo segurança e confiabilidade para o consumidor. O custo inicial ainda é muito alto, o que torna um empecilho para a difusão da tecnologia para a geração de energia. Os maiores problemas e os que acarretam maiores custos para o início do projeto são as fases de estudo do potencial do local, que mesmo já mapeado é necessário fazer um estudo local mais profundo, e a de perfuração de poços. Novas tecnologias de perfuração precisam ser aprofundadas e barateadas, para que a fonte de energia seja mais bem utilizada no futuro, contribuindo com a ampliação e variação da matriz energética mundial.

Outro fator relevante a favor da energia vinda do interior da terra é a sua possibilidade de mais de um uso final, podendo ser para aquecimento ou resfriamento e também para a geração de energia elétrica, sendo assim uma fonte importante a ser explorada. Seu uso para aquecimento e resfriamento contribuirá para a diminuição do uso de energia elétrica em ar condicionados e aquecedores, o que nos dias de hoje é importante devido à necessidade de energia futura.

No Brasil a tecnologia não tem muita previsão de crescimento, somente o seu uso como fonte de calor poderia ser aproveitada, pois o potencial para altas temperaturas é baixo, o que inviabiliza a geração de energia elétrica através dessa tecnologia.

Em alguns lugares do mundo a energia geotérmica já compete com as outras formas de geração de energia, sendo uma parte já importante e consolidada nessas matrizes energéticas. A tendência é que a tecnologia se desenvolva mais, com a diminuição do custo, o que facilitaria a sua expansão ao redor do mundo, aproveitando assim os potenciais existentes.

Capítulo 9: Potencial De Geração De Biogás E Energia Elétrica Em Estações De Tratamento De Esgoto Em Minas Gerais[9]

Resumo: **Este trabalho apresenta o potencial de geração de biogás e energia elétrica em estações de tratamento de esgoto dos municípios mineiros atendidos pela COPASA. Ao todo são 283 municípios com esgoto tratado pela COPASA, porém apenas a ETE Arrudas, em Belo Horizonte, aproveita o biogás produzido para a geração de energia elétrica para abastecimento próprio. Será feito, então, um estudo de caso das ETEs de Belo Horizonte, comparando os resultados aqui obtidos com os dados fornecidos pela COPASA.**

9.1 Introdução

O cenário energético atual, do planeta, apresenta-se com uma principal necessidade, a diversificação da sua matriz, uma vez que, a mesma ainda é baseada nas energias não renováveis e nos combustíveis fósseis. Em paralelo ao problema energético, vários outros problemas ressaltam com o avanço da sociedade e seguem sem soluções claras. O Biogás é um exemplo de bicombustível que além de poder substituir, em partes, o fornecimento local de energia e combustíveis, ajuda no combate aos problemas de lixo, esgoto e resíduos, dentre outros. Procurar a melhor forma de relacionar ao meio ambiente os pontos positivos e negativos e formas que maximizem e minimizem tais pontos, respectivamente, é um papel importante a ser cumprido na defesa do meio ambiente.

O biogás é considerado uma fonte de energia renovável e é visto como uma alternativa energética porque pode transformar resíduos orgânicos, agrícolas, industriais e urbanos em energia. Além disso, ainda tem como subprodutos do seu processo de produção os resíduos sólidos que podem ser aproveitados como adubo orgânico e o efluente líquido que pode ser aproveitado como biofertilizante. Portanto, além de gerar energia, o biogás pode ainda ajudar a diminuir a quantidade de lixo no planeta, na medida em que degrada a fração orgânica presente no mesmo.

Especificamente sobre o aproveitamento energético do biogás, proveniente do processo de tratamento do esgoto, deve-se ressaltar que tal aproveitamento complementa o sistema ETE. Principalmente considerando que a emissão de gases causadores do efeito estufa será reduzida, e ainda, parte deles será aproveitada para produção de energia.

9.2 O que é esgoto sanitário

Segundo a definição da norma brasileira NBR 9648 (ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas), esgoto sanitário é o “despejo líquido constituído de esgotos domestico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Sendo definido pela mesma norma:

- Esgoto doméstico como o "despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”;
- Esgoto industrial como o "despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos”;
- Água de infiltração como "toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações";
- Contribuição pluvial parasitária como "a parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário".

[9] Trabalho realizado pelo estagiário Rodrigo Moraes Belém, em 2014.

9.3 O que é uma Estação de Tratamento de Esgoto

Uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) ou Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) são estruturas designadas a tratar esgoto doméstico e industrial para depois despeja-los nos corpos d'água com um nível de poluição dentro do limite estabelecido pela legislação vigente para o meio receptor. São compostas normalmente por um tratamento preliminar, seguido do tratamento primário, tratamento secundário e, por fim, o tratamento terciário (ou pós tratamento).

9.3.1 Como funciona uma ETE

O tratamento preliminar consiste de dispositivos usados na entrada/chegada do esgoto na ETE, a fim de reter sólidos grosseiros e remover a areia (sólidos granulares) presente nesse esgoto.

Para a retirada dos sólidos grosseiros, são, normalmente, utilizadas grades que retêm o material cujo tamanho é maior do que o espaçamento entre suas barras. A utilização de uma ou mais grades com diferentes espaçamentos entre suas barras pode ser variável, de acordo com o definido em projeto para cada ETE em específico. A retirada dos sólidos retidos nas grades pode ser feita de forma manual ou mecânica.

A remoção da areia (sólidos granulares) ocorre nos desarenadores, por meio de sedimentação. Essa areia sedimentada deve ser retirada dos tanques sempre que o material acumulado ocupar a metade da altura ou 2/3 do comprimento da câmara de armazenamento. Já existem métodos mecanizados para essa retirada de material acumulado, como, por exemplo, bombas parafuso.

Figura 9.1 – Gradeamento manual

Fonte: http://www.saneamento.poli.ufrj.br/site/pt-br/ute/.

Figura 9.2 – Desarenadores

Fonte: http://sigma.ind.br/produto/desarenadores.

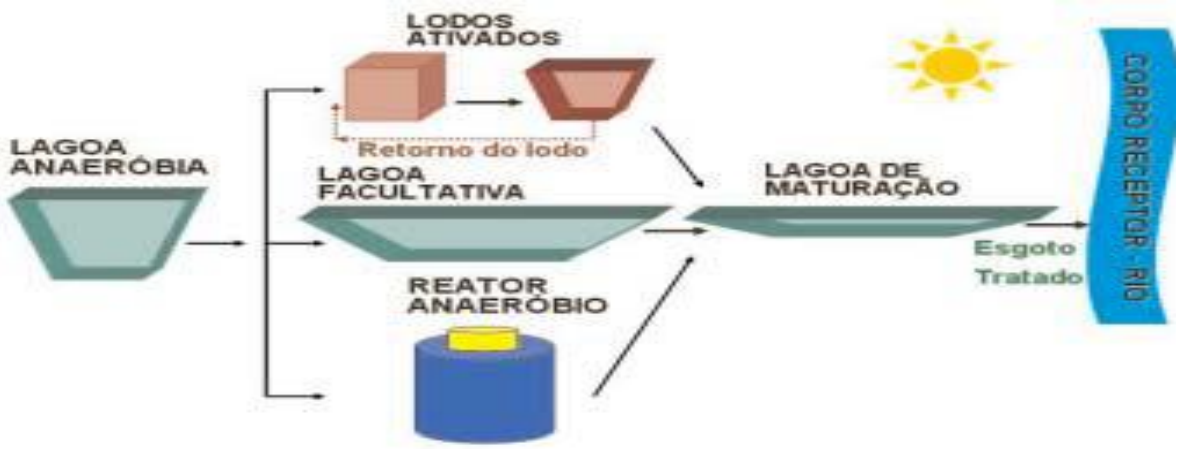
O tratamento primário consiste na separação da matéria poluidora da água através da sedimentação, normalmente, em decantadores, que são tanques pelo qual o esgoto escoa lentamente permitindo-se a sedimentação dos sólidos em suspensão. Às vezes é necessária a adição de uma substancia coagulante, devido a algumas partículas que não possuem peso nem tamanho necessário para precipitarem, para uni-las e criar partículas maiores e mais pesadas que irão sedimentar pela ação da gravidade. A matéria acumulada no fundo dos decantadores é denominada lodo primário bruto. Sua retirada pode ser feita por tubulações ou raspadores mecanizados.

Figura 9.3 – Decantador primário

O tratamento secundário consiste na remoção da carga poluidora (DBO dissolvida) através da ação de microorganismos em processos biológicos naturais. Para esta etapa existem diversas tecnologias de tratamento disponíveis, e vai depender da demanda da ETE para definir qual(is) usar. Feito este tratamento, em alguns casos a água já esta em condições de ser despejada no corpo receptor, porém ainda existem etapas subsequentes ao tratamento secundário para melhorar o nível de qualidade desta água.

O tratamento terciário, ou pós-tratamento, tem o objetivo de remover ainda mais os contaminantes restantes no esgoto previamente tratado. Pode ser feito através de lagoas de polimento/maturação, filtro anaeróbio, filtro aerado ou escoamento superficial, dependendo sempre da demanda da ETE.

Figura 8.4 – Esquema de pós-tratamento com utilização de lagoas



Fonte: FEAM, 2006.

9.4 O que é Biogás

Biogás é uma mistura gasosa obtida através da digestão anaeróbia da matéria orgânica, em outras palavras, é a quebra biológica da matéria orgânica sem a presença de oxigênio. É composto por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear, como o gás metano (CH_4 - 55% a 70%,), gás carbônico (CO_2 – 30% a 45%) e pequenas quantidades de gás sulfídrico (H_2S), hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2). O gás sulfídrico (H_2S), é o principal responsável por conceder ao Biogás as características: corrosivo e de odor desagradável.

9.4.1 Onde existe o Biogás

O biogás pode ser produzido de forma antrópica, em aterros sanitários e em usinas de biogás, e de forma natural, em qualquer lugar que não exista a presença de oxigênio atmosférico e, exista a presença de matéria orgânica, como em fundos de corpos d'água, pântanos e intestino de animais.

9.4.2 Fatores Intervenientes na produção do Biogás

Antes de qualquer coisa, devemos levar em conta os fatores que interferem na produção e, principalmente, na conversão do biogás em outras formas de energia.

Segundo Costa *et al.*, (2001), a quantidade de biogás produzido varia sob a influencia dos seguintes fatores:

- Composição dos resíduos: quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior o seu potencial de geração de metano;
- Ambiente anaeróbio: para que haja a produção de biogás, a matéria orgânica deve sofrer decomposição em ambiente sem oxigênio. No caso de tratamento de esgotos, o lodo deve permanecer em biodigestores;
- Umidade: é essencial para a vida das bactérias decompositoras, depende da umidade inicial do resíduo e da água produzida na decomposição;

- Temperatura: as bactérias metanogênicas atingem maior produtividade na chamada fase “mesófila”, compreendida entre 30° - 40°C;

- pH: as bactérias metanogênicas atingem maior produtividade com o pH entre 6,8 - 7,2, tendo o pH 7 (neutro) como o ideal;

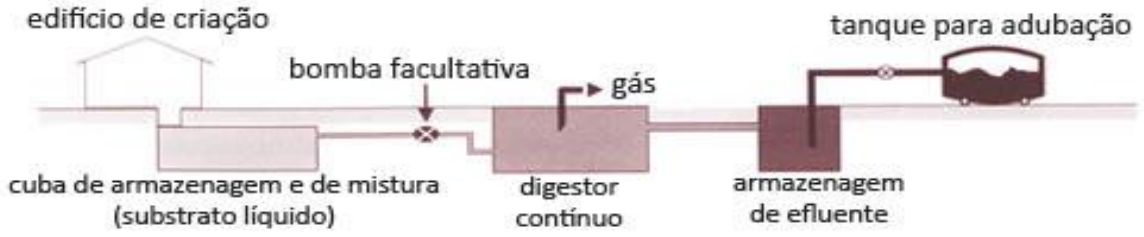
- Relação carbono/nitrogênio (C/N): deve ter o valor compreendido entre 30 – 35, acima deste valor, o processo é pouco eficaz, já que as bactérias não podem utilizar todo o carbono disponível.

9.4.3 Como obter o Biogás de ETE´s

O biogás proveniente de resíduos de Estações de Tratamento de Esgoto (lodo de esgoto) é obtido através da sua digestão anaeróbica em digestores. É grande o número de digestores diferentes existentes hoje em dia (indiano, paquistanês, chinês, tailandês, filipino e etc.), porém, podemos dividi-los em duas categorias: contínuos e descontínuos.

Os biodigestores de operação contínua operam com cargas diárias de matéria orgânica que se movimenta por meio de carga hidráulica dentro do biodigestor, ou seja, conforme o efluente a ser tratado entra no biodigestor, existe a saida de material já tratado. A fim de evitar entupimentos e/ou formação de crostas no interior do biodigestor, deve-se diluir em água ou triturar a matéria orgânica. O tempo de retenção varia conforme o volume de gás a produzir, o grau de digestão pretendido e a temperatura de funcionamento.

Figura 8.5 – Diagrama esquemático do biodigestor contínuo



Fonte: UNIFEI, 2007.

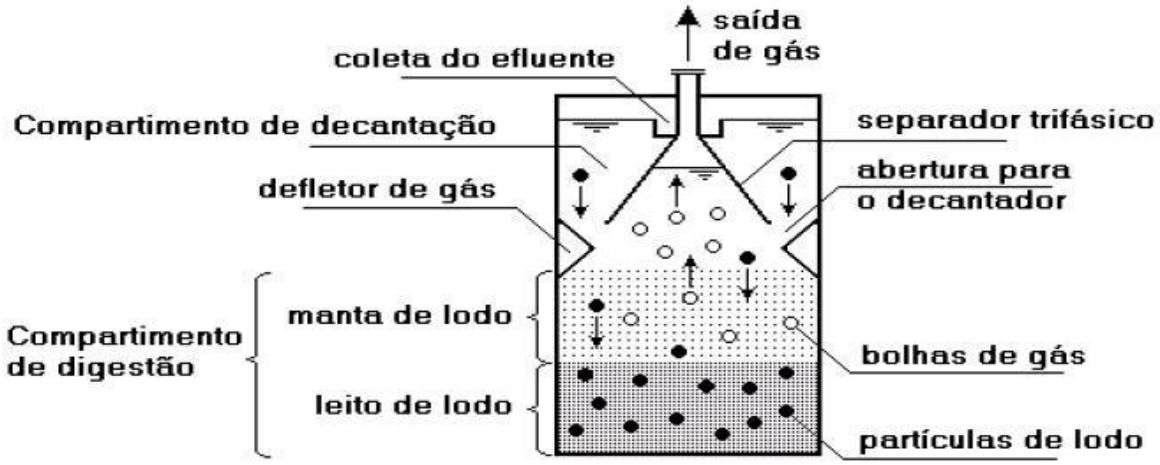
Nos biodigestores descontinuos (ou em batelada) a matéria orgânica é inserida toda de uma só vez e só é retirada após a conclusão do processo de digestão anaeróbica, quando houver um declínio na produção de biogás. O biodigestor será aberto novamente para a retirada do material degradado e inserção da nova carga de materia orgânica a ser consumida. Se houver problemas durante o processo, a melhor opção é começar novamente.

Figura 8.6 – Diagrama esquemático do biodigestor descontínuo

Fonte: UNIFEI, 2007.

Os biodigestores mais usados em ETEs são os contínuos de fluxo ascendente, conhecidos como UASB (*Upward-Flow Anaerobic Sludge Blanket*) ou RAFA (*Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente*). Sua coluna ascendente consiste de uma zona de digestão, uma zona de sedimentação, e o dispositivo separador de fases gás-sólido-líquido.

Figura 9.7 – Esquema de um biodigestor tipo UASB



Fonte: SAMAE, 2014.

O esgoto entra no reator pela parte inferior e segue uma trajetória ascendente até encontrar a manta de lodo, onde ocorre a mistura, a biodegradação e a digestão anaeróbia do conteúdo orgânico, tendo como subproduto a geração de biogás. O biogás segue em trajetória ascendente em direção ao separador trifásico, saindo pelo dispositivo de coleta de gases. Já o esgoto segue para o compartimento de decantação, onde terá sua velocidade progressivamente reduzida na abertura deste compartimento para que as partículas sólidas possam ser sedimentadas na superfície inclinada do separador de fases. Em um determinado momento, o peso das partículas sedimentadas se tornará maior do que o atrito da superfície inclinada e, então, deslizarão de volta para o compartimento de digestão.

9.5 Como aproveitar energéticamente o Biogás obtido em ETEs

O biogás obtido através da digestão anaeróbica pode ser convertido em energia elétrica (por meio de geradores e microturbinas específicas), energia térmica (para aquecimento, geração de vapor, secagem de materiais, etc.), iluminação (de vias públicas) ou até mesmo combustível para automóveis.

A geração de energia elétrica obtida através da conversão do biogás traz diversas vantagens para a sociedade, principalmente pelo fato de ser uma fonte de geração descentralizada, ou seja, próxima ao consumidor e sendo desnecessário o investimento em linhas de transmissão. Além de, é claro, ser considerada uma fonte de energia renovável, contribuindo para a redução de emissões de gases do efeito estufa.

9.5.1 Caracteristicas Do Biogás

As características do biogás dependem de diversos fatores, tais como pressão, temperatura, umidade, concentração de metano e concentração de gases inertes e/ou ácidos. A tabela a seguir apresenta a variação do poder calorífico em relação à composição do biogás.

Tabela 9.1 – Variação do poder calorífico em relação à composição do biogás

Composição Química do Biogás	Peso Específico (kg/Nm^3)	Pode Calorífico Inferior (kcal/kg)
10% CH_4, 90% CO_2	1,8393	465,43
40% CH_4, 60% CO_2	1,4643	2.338,52
60% CH_4, 40% CO_2	1,2143	4.229,98
65% CH_4, 35% CO_2	1,1518	4.831,14
75% CH_4, 25% CO_2	1,0268	6.253,01
95% CH_4, 05% CO_2	0,7768	10.469,60
99% CH_4, 01% CO_2	0,7268	11.661,02

Fonte: Avellar, 2001.

O biogás pode ou não ser usado nas condições em que é gerado, porém, isso dependerá das especificações técnicas dos equipamentos de conversão a serem utilizados. Quando sua composição natural não atende as especificações desses equipamentos, é necessária uma purificação do biogás para seu uso.

Quando substâncias não combustíveis, como água, ácido sulfídrico e dióxido de carbono, estão presentes em quantidades significativas no biogás, o processo de combustão se torna menos eficiente, podendo acarretar uma combustão incompleta, perda de potencia, falha de alimentação e corrosão precoce dos motores. Ou seja, com a presença destas, o gás comburente é diluído, reduzindo o Poder Calorífico Inferior – PCI e, consequentemente, impactando na queima do mesmo.

9.5.2 Tecnologias de conversão do biogás em energia elétrica

Existem diversas tecnologias de conversão do biogás em energia elétrica atualmente, se destacando os motores de combustão - Ciclo-Otto e as microturbinas e turbinas a gás.

9.5.2.1 Motores de combustão interna – Ciclo-Otto

Os motores de Ciclo-Otto são os mais utilizados na queima do biogás hoje em dia, devido seu baixo custo quando comparados com outras tecnologias.

O Ciclo-Otto se constitui de 4 etapas:

1. Compressão adiabática
2. Aquecimento isométrico de calor
3. Expansão adiabática
4. Rejeição isométrica de calor

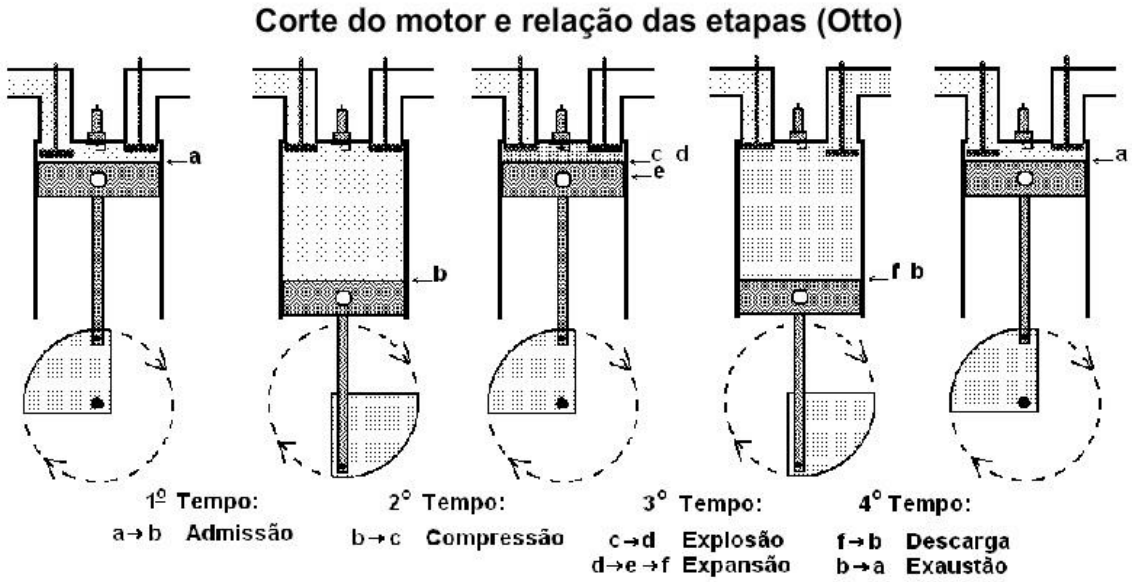
Na primeira etapa, denominada admissão, a válvula de admissão é aberta permitindo a entrada da mistura de ar e combustível conforme o pistão vai se movendo de forma a aumentar o espaço na câmara de combustão.

Na segunda etapa, denominada compressão, o pistão comprime a mistura de ar e combustível e fecha as válvulas, fazendo com que a mistura fique pressurizada dentro da câmara.

Na terceira etapa, denominada explosão, a mistura comprimida recebe uma centelha, ou faísca, oriunda da vela de ignição e o pistão é, então, deslocado para baixo devido a explosão e expansão dos gases. As válvulas continuam fechadas.

Na quarta e última etapa, denominada escape, a válvula de escape é aberta e ocorre, então, a exaustão dos gases queimados na explosão pelo movimento do pistão. A partir daí o ciclo se repete continuamente enquanto o motor estiver em funcionamento.

Figura 9.8 – Funcionamento de um motor de Ciclo-Otto



Fonte: http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_otto.htm.

9.5.2.2 Turbinas a Gás

Toda turbina a gás consiste em um compressor, uma câmara de combustão e a turbina, realizando um ciclo denominado Ciclo Brayton.

O Ciclo Brayton se constitui de 4 etapas:

1. Compressão adiabática e isentrópica

2. Adição de calor

3. Expansão

4. Retirada de calor

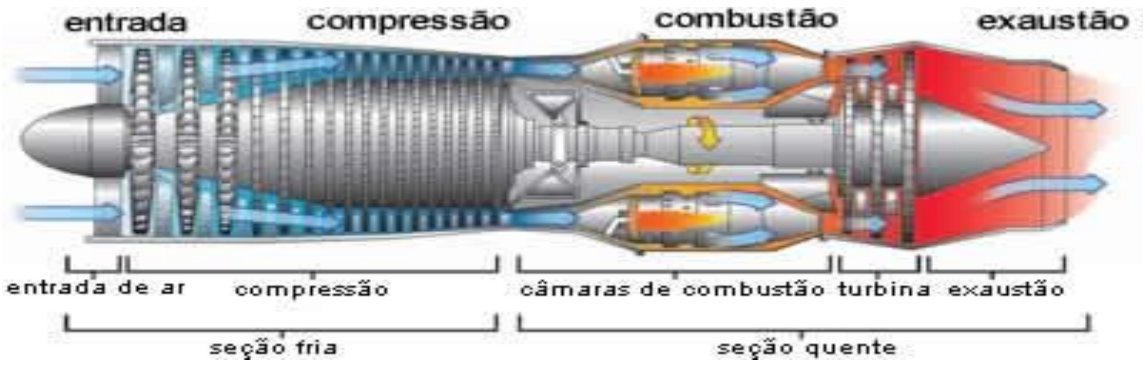
Na primeira etapa ocorre a compressão adiabática e isentrópica do ar atmosférico que passa pelo compressor, aumentando sua temperatura e entalpia.

Na segunda etapa, o ar comprimido chega à câmara de combustão, onde se mistura com o combustível possibilitando sua queima e aquecimento. A pressão é constante.

Na terceira etapa, os gases oriundos da câmara de combustão, a alta pressão e temperatura, entram na turbina e se expandem realizando trabalho mecânico.

A quarta etapa se resume na exaustão dos gases da turbina para o meio ambiente, que os esfria.

Figura 9.9 - Funcionamento de uma turbina a gás



Fonte: TECMUNDO, 2012.

9.5.2.3 Microturbinas a Gás

As microturbinas a gás seguem o mesmo princípio das turbinas a gás de grande porte, ou seja, operam com Ciclo Brayton. A diferença é que elas operam na faixa entre 30 kW e 1 MW.

Em sistemas estacionários, os gases de expansão podem ter suas altas temperaturas aproveitadas em trocadores de calor, caracterizando um ciclo de cogeração.

As vantagens das microturbinas são as baixas emissões atmosféricas, baixos níveis de ruídos e vibrações, dimensões reduzidas, flexibilidade de combustíveis e simplicidade de instalação.

9.5.3 Cogeração

A conversão da energia térmica de um combustível em mais de uma forma de energia útil (calor e eletricidade) é denominada cogeração.

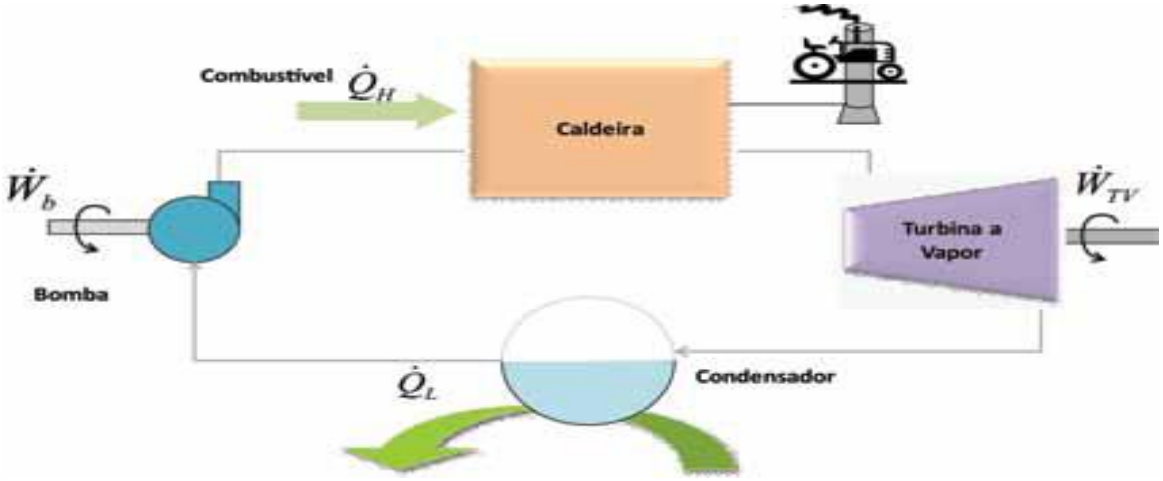
O processo de conversão da energia térmica do biogás em calor pode ser usado em aquecedores a gás, calor de processo, aquecimento de granjas, cocção, secagem de grãos e lodo, iluminação a gás, etc.

9.5.3.1 Sistemas De Ciclo A Vapor

O sistema é formado por uma caldeira, turbina, condensador e bomba e realiza o ciclo Rankine. O combustível injetado na caldeira é queimado e gera vapor, que passará pela turbina e acionará o gerador, produzindo energia elétrica. O vapor, ao sair da turbina, passa pelo condensador, retornando ao estado líquido, e é mandado novamente para a caldeira pela bomba. Assim o ciclo se repete.

O vapor gerado na caldeira poderá ser usado também para o aquecimento direto ou processos industriais.

Figura 9.10 - Esquema de um ciclo de cogeração a vapor



9.5.3.2 Sistemas de Ciclo a Gás

O sistema de ciclo a gás nada mais é do que o aproveitamento dos gases de exaustão de uma turbina ou micro-turbina a gás. Esses gases saem da turbina com alta temperatura, 380°C a 600°C, e alto conteúdo energético, 50% a 70% da energia do combustível.

Neste sistema, os gases exauridos da turbina a gás são direcionados para uma caldeira de recuperação onde irão produzir vapor. Este vapor pode ser utilizado tanto para produzir energia elétrica, passando por uma turbina a vapor e acionando um gerador (conhecido como ciclo combinado), ou para aquecimento de fluidos térmicos, em trocadores de calor.

9.6 O Cenário de Minas Gerais

O Estado de Minas Gerais é composto hoje por 853 municípios e uma população total de 20.593.330 habitantes (IBGE, 2013).

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE de 2008, Minas Gerais possuía 91,7% (781) de seus municípios com rede coletora de esgoto, porém somente 22,7% (194) dos municípios tratavam seu esgoto.

A COPASA é a principal empresa responsável pela área de saneamento em Minas Gerais, sendo a encarregada pela concessão de serviços em 283 municípios mineiros. De acordo com dados da própria COPASA, 236 municípios contam hoje com algum tipo de tratamento de esgoto.

Nos tópicos a seguir, será apresentado o potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em Minas Gerais para diferentes cenários, e o potencial real.

9.6.1 Potencial Teórico de Geração de Biogás e Energia Elétrica em MG – Cenário 1

Podemos analisar o potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em Minas Gerais de duas maneiras. A primeira considerando todos os 853 munícipios tratando 100% de seu esgoto e captando o biogás para geração de energia. Ou seja, isso é apenas uma projeção caso todo o estado tratasse seu esgoto e capturasse o biogás dele proveniente para conversão em energia elétrica.

Para o cálculo da produção esperada de biogás (PB) multiplica-se a população total de cada município pela produção de biogás por habitante, que é de 10 L/hab.dia, e por 365, para a conversão de dias para ano. Por fim, divide-se tudo por 1000 para a conversão de litros para metros cúbicos.

$$PB\left(\frac{Nm^3}{ano}\right) = \frac{População\ (hab) \times Per\ Capita\ de\ Biogás\ (L/hab.dia) \times 365}{1000}$$

A tabela abaixo mostra o resultado para os 30 municípios com mais de 100 mil habitantes em Minas Gerais.

Tabela 9.2 – Potencial teórico de produção de biogás nos 30 municípios com mais de 100 mil habitantes em Minas Gerais

Municípios	População	Produção teórica de biogás (Nm^3/ano)
Belo Horizonte	2.479.165	9.048.952
Uberlândia	646.673	2.360.356
Contagem	637.961	2.328.558
Juiz de Fora	545.942	1.992.688
Betim	406.474	1.483.630
Montes Claros	385.898	1.408.528
Ribeirão das Neves	315.819	1.152.739
Uberaba	315.360	1.151.064
Governador Valadares	275.568	1.005.823
Ipatinga	253.098	923.808
Sete Lagoas	227.571	830.634
Divinópolis	226.345	826.159
Santa Luzia	213.345	778.709
Ibirité	169.908	620.164
Poços de Caldas	161.025	587.741
Patos de Minas	146.416	534.418
Pouso Alegre	140.223	511.814
Teófilo Otoni	140.067	511.245
Barbacena	132.980	485.377
Sabará	132.636	484.121
Varginha	130.139	475.007
Conselheiro Lafaiete	123.275	449.954
Itabira	115.817	422.732
Araguari	114.970	419.641
Vespasiano	114.365	417.432
Passos	111.651	407.526
Ubá	108.493	395.999
Coronel Fabriciano	108.302	395.302
Muriaé	105.861	386.393
Ituiutaba	102.020	372.373

Fonte: COPASA,

Como podemos ver, o potencial de cada município depende diretamente de sua população. Belo Horizonte, com uma produção teórica de 9.048.165 Nm^3/ano, tem um potencial maior do que as próximas 4 maiores cidades juntas, que somam 8.165.233 Nm^3/ano. Já os 30 municípios, juntos, somam 33.168.890 Nm^3/ano de biogás, o que representa 44,13% do potencial teórico de todo o estado de Minas Gerais.

O potencial teórico total de produção de biogás do estado (TABELA 3) é de 75.165.749 Nm^3/ano, caso todo seu esgoto fosse devidamente tratado e o biogás captado.

Tabela 9.3 - Potencial teórico total de produção de biogás do estado

Total MG 2013	
Produção teórica de biogás (Nm3/ano)	**Potencial teórico de energia elétrica (kWh/ano)**
75.165.749,40	**518.180.950,51**

A partir daí, temos como calcular o potencial teórico de energia elétrica (PE) disponível caso todo esse biogás captado fosse convertido em eletricidade. Para isso basta multiplicar os valores encontrados de produção teórica de biogás em cada município pelo poder calorífico do biogás e pelo fator de conversão para kWh.

$$PE\ (kWh) = PB\ \left(\frac{Nm^3}{ano}\right) \times PCB\ \left(\frac{\text{kJ}}{\text{Nm3}}\right) \times Fator\ Conversão\ kWh$$

A tabela 9.4 nos mostra os resultados dos mesmos 30 munícipios anteriores.

Tabela 9.4 – Potencial teórico de geração de energia elétrica nos 30 municípios com mais de 100 mil habitantes em Minas Gerais

Municípios	Produção teórica de biogás (Nm^3/ano)	Potencial teórico energia elétrica (kWh/ano)
Belo Horizonte	9.048.952	62.382.065
Uberlândia	2.360.356	16.271.929
Contagem	2.328.558	16.052.713
Juiz de Fora	1.992.688	13.737.282
Betim	1.483.630	10.227.914
Montes Claros	1.408.528	9.710.170
Ribeirão das Neves	1.152.739	7.946.805
Uberaba	1.151.064	7.935.256
Governador Valadares	1.005.823	6.933.988
Ipatinga	923.808	6.368.586
Sete Lagoas	830.634	5.726.262
Divinópolis	826.159	5.695.413
Santa Luzia	778.709	5.368.300
Ibirité	620.164	4.275.315
Poços de Caldas	587.741	4.051.796
Patos de Minas	534.418	3.684.197
Pouso Alegre	511.814	3.528.366
Teófilo Otoni	511.245	3.524.440
Barbacena	485.377	3.346.113
Sabará	484.121	3.337.457
Varginha	475.007	3.274.627
Conselheiro Lafaiete	449.954	3.101.911
Itabira	422.732	2.914.249
Araguari	419.641	2.892.936
Vespasiano	417.432	2.877.713

Passos	407.526	2.809.422
Ubá	395.999	2.729.958
Coronel Fabriciano	395.302	2.725.152
Muriaé	386.393	2.663.731
Ituiutaba	372.373	2.567.081

Fator de conversão kJ para kWh: 0,000278
Poder calorífico do biogás: 24.798 kJ/Nm3
Fonte: COPASA.

Ao analisarmos a tabela 4, podemos ver que Belo Horizonte, com 62.382.065 kWh/ano, possui, também, um potencial teórico de energia elétrica maior do que as próximas 4 maiores cidades juntas, que somam 56.289.839 kWh/ano. Já os 30 municípios, juntos, somam 228.661.150 kWh/ano, o que representa, novamente, 44,13% do potencial teórico de todo o estado de Minas Gerais.

O potencial teórico total de geração de energia elétrica do estado é de 518.180.951 kWh/ano, caso todo o biogás captado fosse convertido em energia elétrica.

De acordo com dados da CEMIG, o valor médio para o consumidor em Minas Gerais é de 122 kWh/mês. Com isso, é possível estimar qual seria a população atendida com a energia gerada.

Para uma percepção melhor, o potencial teórico de Belo Horizonte atenderia cerca de 42.611 pessoas, o que representa uma população maior do que a população de 90,9% (775) dos municípios mineiros. Já o potencial teórico de todo o estado de Minas Gerais atenderia cerca de 353.949 pessoas, o que representa uma população maior do que a população de 99,3% (847) dos municípios mineiros.

Porém, vale lembrar novamente que todos esses valores encontrados são apenas teóricos, possíveis de serem alcançados somente se 100% do esgoto de todos os 853 municípios fossem tratados em estações de tratamento de esgoto e 100% do biogás gerado fosse captado e convertido em energia elétrica. Realidade esta ainda muito distante do que cenário atual de Minas Gerais.

Gráfico 9.1 – Soma de produção teórica de biogás em Nm³/ano por mesorregião de Minas Gerais em 2013

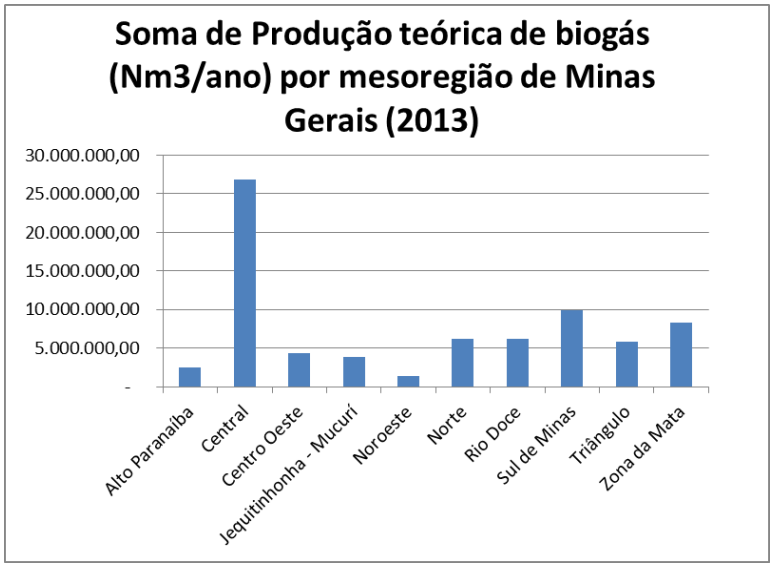
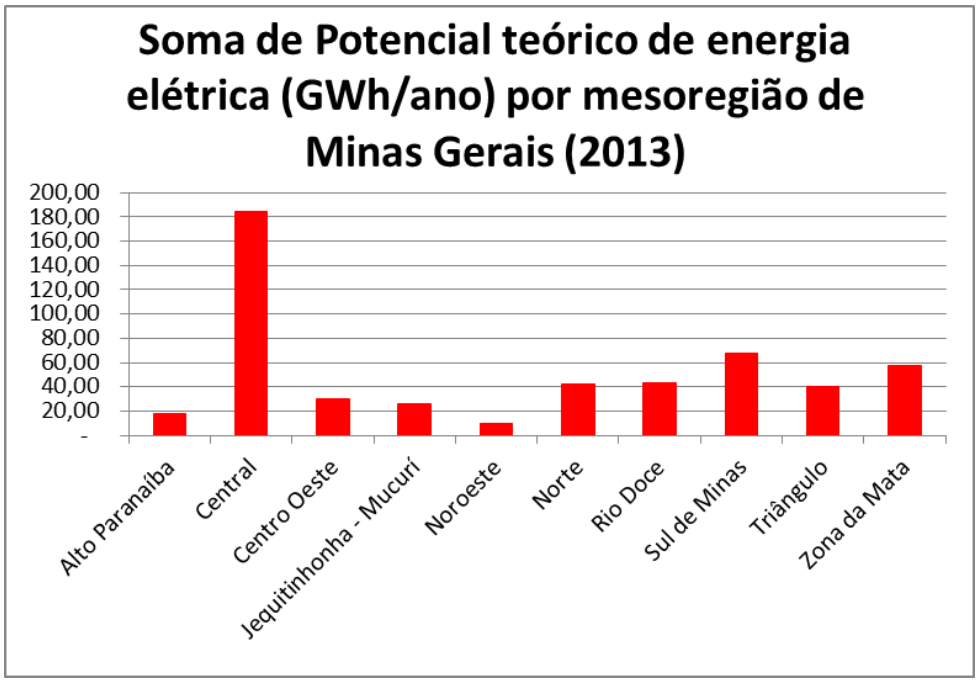


Gráfico 9.2 – Soma de potencial teórica de energia elétrica em GWh/ano por mesorregião de Minas Gerais em 2013



9.6.2 Potencial Teórico de Geração de Biogás e Energia Elétrica em MG – Cenário 2

A segunda maneira de analisar o potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em Minas Gerais é considerando apenas os 236 munícipios com estações de tratamento de esgoto operadas pela COPASA, com a quantidade de tratamento real de esgoto e captando o biogás para a geração de energia. Vale lembrar que 12 dos 30 municípios com mais de 100 mil habitantes de Minas Gerais não são atendidos pela COPASA ou não possuem tratamento de esgoto e, portanto, não serão considerados nesta etapa. São eles: Uberlândia, Juiz de Fora, Uberaba, Governador Valadares, Sete Lagoas, Poços de Caldas, Itabira, Araguarí, Passos, Ubá, Muriaé e Ituiutaba.

Para o cálculo da geração teórica de biogás multiplica-se a população atendida pela vazão da ETE pela produção per capta média de biogás, que neste caso é de 15 L/hab (conforme consultoria do banco Kfw), e divide-se por 1000 para a conversão de litros para metros cúbicos. A população atendida pela vazão da ETE é fornecida pela COPASA.

$$PB\left(\frac{\mathrm{m3}}{\mathrm{dia}}\right) = \frac{Pop.Via\ Vazão\ (hab) \times Per\ Capita\ Biogás\ (L/hab.dia)}{1000}$$

Para o cálculo da geração teórica de energia elétrica basta multiplicar os valores encontrados de produção teórica de biogás em cada ETE pelo poder calorífico do biogás e pelo fator de conversão para kWh.

$$PE\ (kWh) = PB\left(\frac{m^3}{dia}\right) \times PCB\left(\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{m^3}}\right) \times Fator\ Conversão\ kWh$$

A tabela 9.5 nos mostra os resultados.

Tabela 9.5 - Potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica pelas ETE´s dos municípios com mais de 100 mil habitantes de Minas Gerais

Município	ETE	População atendida	Produção teórica de biogás (m^3/dia)	Potencial teórico de energia elétrica (kWh)
BH	Arrudas	1.677.302,39	508.118,00	145.965,36
BH	Onça	1.093.836,11	21.600,00	6.204,96
BH	Ressaca/Sarandi	491.503,53	7.372,55	2.117,89
BH	Jardim Vitória	26.889,05	-	-
BH	Olhos D'Água	3.263,23	48,95	14,06
BH	Minas Solidária	633,07	9,50	2,73
Contagem	Nova Contagem	62.780,96	941,71	270,52
Betim	Central	333.590,73	5.003,86	1.437,44
Betim	Bandeirinhas	23.629,34	354,44	101,82
Betim	Teixeirinha	9.382,24	140,73	40,43
Betim	Cidade Verde	8.600,39	129,01	37,06
Betim	Cachoeira	4.864,86	72,97	20,96
Betim	Petrovale	4.361,00	65,42	18,79
Betim	Santo Antônio	1.980,69	29,71	8,53
Montes Claros	Vieiras	445.327,15	6.679,91	1.918,91
Montes Claros	Nova Esperança	1.611,45	24,17	6,94
R. das Neves	Sede	402.195,22	6.032,93	1.733,06
R. das Neves	Justinópolis	266.776,45	4.001,65	1.149,54
R. das Neves	Veneza	47.713,05	715,70	205,60
R. das Neves	Centro e Savassi	29.567,72	443,52	127,41
Ipatinga	Rio Doce/Ipanema	415.570,04	6.233,55	1.790,69
Ipatinga	Imbaúbas/Areal	13.788,05	206,82	59,41
Ipatinga	Horto	5.592,36	83,89	24,10
Ipatinga	Bela Vista	5.679,14	85,19	24,47
Divinópolis	Itapecerica	294.334,92	4.415,02	1.268,29
Divinópolis	Pará	11.520,41	172,81	49,64
Santa Luzia	Cristina	101.423,18	1.521,35	437,03
Santa Luzia	Tenente	30.823,24	462,35	132,82
Santa Luzia	Santa Luzia	28.231,19	423,47	121,65
Santa Luzia	Pinhões	8.884,77	133,27	38,28
Santa Luzia	Apac	2.091,20	31,37	9,01
Santa Luzia	Bom Destino Norte	1.537,03	23,06	6,62
Santa Luzia	Bom Destino Sul	1.108,34	16,63	4,78
Ibirité	Sede	301.075,27	4.516,13	1.297,33
Patos de Minas	Patos de Minas	247.505,58	3.712,58	1.066,50
Patos de Minas	Santana dos Patos	1.340,28	20,10	5,78
Patos de Minas	Pilar	1.072,23	16,08	4,62
Pouso Alegre	Sapucaí Mirim	121.311,97	1.819,68	522,73
Pouso Alegre	Cidade Jardim	35.989,22	539,84	155,08
Pouso Alegre	São José do Pântano	469,07	7,04	2,02
Teófilo Otoni	Teófilo Otoni	92.340,76	1.385,11	397,90
Barbacena	Sede	164.425,27	2.466,38	708,51
Varginha	São José	82.242,07	1.233,63	354,38
Varginha	Santana	68.736,04	1.031,04	296,18
Varginha	Walita	803,93	12,06	3,46

Lafaiete	Ventura Luiz	209.100,08	3.136,50	901,01
Lafaiete	Bananeiras	67.242,82	1.008,64	289,75
Vespasiano	Vespasiano	49.361,17	740,42	212,70
Vespasiano	Morro Alto	32.309,13	484,64	139,22
Vespasiano	Nova Pampulha	21.315,05	319,73	91,85
Vespasiano	Vida Nova	3.497,35	52,46	15,07
Coronel Fabrici-ano	Coronel Fabriciano	188.016,57	2.820,25	810,16

Fator de conversão kJ para kWh: 0,000278
Poder calorífico do biogás: 24.798 kcal/m3
Fonte: COPASA.

Ao analisarmos a tabela 9.5, percebe-se que a grande maioria dos municípios possui mais de uma estação de tratamento de esgoto, o que é um ponto negativo se tratando de geração de energia elétrica a partir do biogás, pois o potencial se divide em pequenas quantidades se tornando praticamente inviável. O mais interessante seria se uma única ETE tratasse todo o esgoto captado, pois assim o potencial de biogás seria maximizado, assim como a geração de energia.

Além do fato do tratamento de esgoto não ser centralizado, a maioria das ETEs são de pequeno porte, tendo um potencial de produção de biogás quase que insignificante.

9.6.3 O Cenário de Belo Horizonte

Conforme visto no tópico anterior, Belo Horizonte possui, hoje, 7 estações de tratamento de esgoto em funcionamento, recebendo esgoto não só de BH mas também de municípios da grande BH, como Sabará, Nova Lima, Contagem, etc.

Tabela 9.6 - ETEs de Belo Horizonte

Estação de Tratamento de Esgoto	**Capacidade (L/s)**	**Vazão (L/S)**	**DBO_5 Afluente (mg/L)**	**DBO_5 Efluente (mg/L)**	**DQO_5 Afluente (mg/L)**	**DQO_5 Efluente (mg/L)**	**Potencial de produção de biogás (m^3/dia)**
Arrudas	2250	2570	290,70	15,60	436,05	23,40	508.118,00
Onça	1000	1676	256,00	31,00	384,00	46,50	21.600,00
Ressaca/Sarandi	750	766,7	34,80	10,80	-	-	7.372,55
Jardim Vitória	41,2	-	-	-	-	-	-
Olhos D'Água	17,2	5	328,00	64,50	492,00	96,75	48,95
Minas Solidária	3,3	0,97	495,00	119,00	742,50	178,50	9,50
Nova Contagem	29	75	330,00	34,00	495,00	51,00	941,71

Fonte: COPASA.

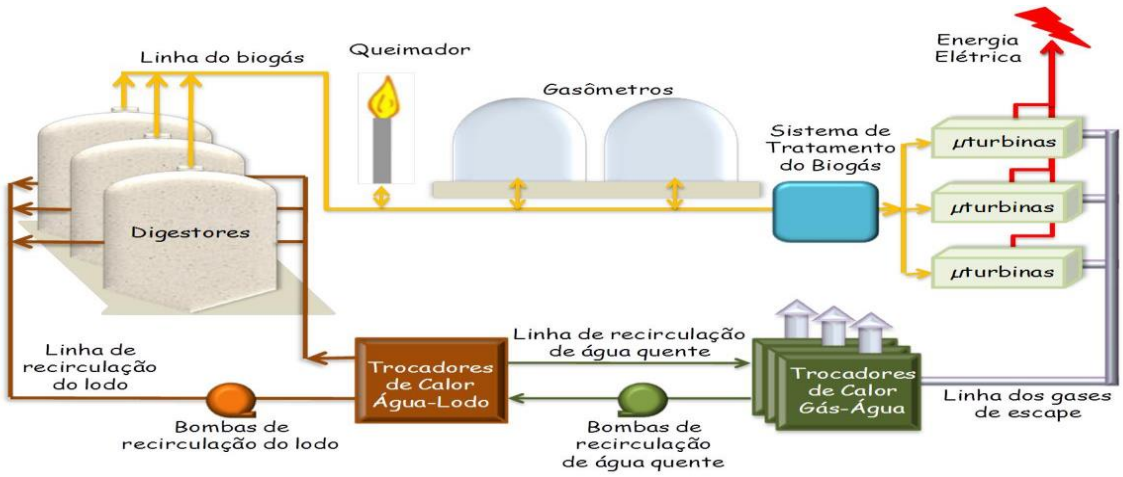
Entre todos os 853 municípios de Minas Gerais, apenas em Belo Horizonte, na ETE Arrudas, ocorre a produção do biogás do lodo de esgoto em biodigestores para geração de energia elétrica. A ETE Arrudas é equipada com uma Pequena Central Termelétrica (PCT) utilizando microturbinas a gás. As demais ETEs não aproveitam o biogás gerado.

O lodo, primário e secundário, é direcionado para os biodigestores, onde ocorre a decomposição anaeróbica e, consequentemente, a produção do biogás, que por sua vez é armazenado em grandes tanques de armazenamento. Quando o armazenamento chega no seu limite, o biogás gerado é queimado em *Flares* para ser liberado para a atmosfera em forma de CO_2.

Já o biogás armazenado, antes de ser direcionado para as microturbinas, passa por um tratamento composto por um *Chiller* (sistema de resfriamento do gás) e um *Skid* (sistema de compressão e retirada de impurezas do gás). Após esse processo, o biogás vai para as microturbinas, onde, através do Ciclo Brayton (item 9.5.2.2), ocorre a geração de energia elétrica.

Além da geração de energia elétrica, a ETE Arrudas conta também com um sistema de cogeração, onde os gases de escape das microturbinas, a altas temperaturas, são aproveitados em trocadores de calor gás-água e água-lodo, em um ciclo fechado.

Figura 9.11 - Esquema de funcionamento da CHP da ETE Arrudas



Fonte: COPASA (http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/esgotamento-sanitario/valorizacao-do-esgoto/conteudos/ete-sustentavel).

Conforme já foi mostrado anteriormente, a ETE Arrudas produz, hoje, 508.118 m^3/dia de biogás, gerando 8.551 MWh. O valor da energia gerada é menor do que o calculado anteriormente pelo fato deste valor ser o valor real, e não teórico, considerando perdas e limitações do sistema. Toda a energia gerada é consumida pela própria estação, que consome em média 14.529 MWh.

9.7 Projeção Do Cenário De Minas Gerais Para 2020

Considerando a projeção da população de Minas Gerais realizada pela Fundação João Pinheiro (2009 – 2020) serão analisados, novamente, os cenários 1 e 2 do potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em Minas Gerais. Porém, desta vez será considerada a população projetada de cada município para o ano de 2020.

9.7.1 Potencial Teórico de Geração de Biogás e Energia Elétrica em MG Para o Ano de 2020 – Cenário 1

Relembrando o primeiro cenário, serão considerados todos os 853 munícipios tratando 100% de seu esgoto e captando o biogás para geração de energia. Ou seja, é apenas uma projeção caso todo o estado tratasse seu esgoto e capturasse o biogás dele proveniente para conversão em energia elétrica no ano de 2020.

A metodologia usada nos cálculos será a mesma, seguindo a fórmula abaixo. Porém, a população irá variar.

$$PB = \frac{População \times Per\ Capita\ de\ Biogás \times 365}{1000}$$

A projeção da população foi realizada pela Fundação João Pinheiro, com base no ano de 2009. Algumas cidades, como Governador Valadares, Teófilo Otoni, Conselheiro Lafaiete e Muriaé, tiveram sua população reduzida.

Já a produção per capita de biogás está diretamente ligada com o consumo per capita de água, ou seja, são valores extremamente variáveis, pois dependem de diversos fatores, tais como renda, tipo de edificação, localidade, clima, etc. O consumo per capita de água no Brasil hoje está na faixa de 150 L/hab.dia, sendo que 80% desta água retorna como esgoto na rede de captação. Como não é possível estimar um valor para 2020, será usado o valor de 15 L/hab.dia, conforme consultoria do banco Kfw para a COPASA.

A tabela abaixo mostra o resultado para os 30 municípios com mais de 100 mil habitantes em Minas Gerais.

Tabela 9.7 - Potencial teórico de produção de biogás nos 30 municípios com mais de 100 mil habitantes em Minas Gerais para o ano de 2020

Municípios	População 2020	Produção teórica de biogás (Nm^3/ano)
Belo Horizonte	2.603.442	14.253.844,95
Uberlândia	734.167	4.019.564,33
Contagem	689.489	3.774.952,28
Juiz de Fora	577.812	3.163.520,70
Betim	544395	2.980.562,63
Ribeirão das Neves	427.075	2.338.235,63
Montes Claros	404.780	2.216.170,50
Uberaba	328.828	1.800.333,30
Governador Valadares	274.113	1.500.768,68
Ipatinga	267.887	1.466.681,33
Santa Luzia	266.564	1.459.437,90
Sete Lagoas	255.495	1.398.835,13
Divinópolis	239.769	1.312.735,28
Ibirité	175.449	960.583,28
Poços de Caldas	162.795	891.302,63
Patos de Minas	151.376	828.783,60
Pouso Alegre	143.685	786.675,38
Barbacena	138.997	761.008,58
Sabará	133.818	732.653,55
Varginha	130.960	717.006,00
Teófilo Otoni	130.487	714.416,33
Conselheiro Lafaiete	122.985	673.342,88
Vespasiano	121.048	662.737,80
Itabira	119.132	652.247,70
Araguari	117.475	643.175,63
Passos	115.028	629.778,30
Ubá	110.485	604.905,38
Coronel Fabriciano	110.258	603.662,55
Muriaé	104.838	573.988,05
Ituiutaba	102.100	558.997,50

Como podemos ver, o potencial de cada município depende diretamente de sua população e da produção per capita de biogás. Belo Horizonte, com uma produção teórica de 14.253.844,95 Nm^3/ano, tem um potencial maior do que as próximas 4 maiores cidades juntas, que somam 13.938.599,93 Nm^3/ano. Já os 30 municípios, juntos,

somam 53.680.907,70 Nm^3/ano de biogás, o que representa 45,45% do potencial teórico de todo o estado de Minas Gerais.

O potencial teórico total de produção de biogás do estado (tabela disponível no final deste documento) é de 118.113.297,38 Nm^3/ano, caso todo seu esgoto fosse devidamente tratado e o biogás captado.

A partir do que foi calculado, podemos calcular agora a produção de energia elétrica, seguindo a mesma metodologia usada anteriormente.

$$PE\ (kWh) = PB\ \left(\frac{Nm^3}{ano}\right) \times PCB\ \left(\frac{\text{kJ}}{\text{Nm3}}\right) \times Fator\ Conversão\ kWh$$

O valor usado de poder calorífico do biogás é de 24.798 kJ/Nm^3 e o fator de conversão de kJ para kWh de 0,000278.

Tabela 9.8 - Potencial teórico de geração de energia elétrica nos 30 municípios com mais de 100 mil habitantes em Minas Gerais para o ano de 2020

Municípios	Produção teórica de biogás (Nm^3/ano)	Potencial teórico de energia elétrica (kWh)
Belo Horizonte	14.253.844,95	98.263.783,49
Uberlândia	4.019.564,33	27.710.249,44
Contagem	3.774.952,28	26.023.932,13
Juiz de Fora	3.163.520,70	21.808.818,20
Betim	2.980.562,63	20.547.533,80
Ribeirão das Neves	2.338.235,63	16.119.431,67
Montes Claros	2.216.170,50	15.277.933,70
Uberaba	1.800.333,30	12.411.216,92
Governador Valadares	1.500.768,68	10.346.065,16
Ipatinga	1.466.681,33	10.111.072,29
Santa Luzia	1.459.437,90	10.061.137,21
Sete Lagoas	1.398.835,13	9.643.351,17
Divinópolis	1.312.735,28	9.049.792,23
Ibirité	960.583,28	6.622.111,28
Poços de Caldas	891.302,63	6.144.501,29
Patos de Minas	828.783,60	5.713.504,85
Pouso Alegre	786.675,38	5.423.217,35
Barbacena	761.008,58	5.246.274,43
Sabará	732.653,55	5.050.799,28
Varginha	717.006,00	4.942.927,51
Teófilo Otoni	714.416,33	4.925.074,73
Conselheiro Lafaiete	673.342,88	4.641.920,77
Vespasiano	662.737,80	4.568.811,01
Itabira	652.247,70	4.496.493,89
Araguari	643.175,63	4.433.952,46
Passos	629.778,30	4.341.593,35
Ubá	604.905,38	4.170.123,32
Coronel Fabriciano	603.662,55	4.161.555,45
Muriaé	573.988,05	3.956.984,07
Ituiutaba	558.997,50	3.853.641,56

Ao analisarmos a Tabela 9.8, podemos ver que Belo Horizonte, com 98.263.783,49 kWh/ano, possui, também, um potencial teórico de energia elétrica maior do que as próximas 4 maiores cidades juntas, que somam 96.090.533,56 kWh/ano. Já os 30 municípios, juntos, somam 370.067.804,01 kWh/ano, o que representa, novamente, 45,45% do potencial teórico de todo o estado de Minas Gerais.

O potencial teórico total de geração de energia elétrica do estado é de 814.254.646,43 kWh/ano, caso todo o biogás captado fosse convertido em energia elétrica.

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 nos mostra uma taxa de variação para o consumo de eletricidade na rede por residências de 4,5% ao ano, o que nos permite chegar ao valor médio para o consumidor em Minas Gerais de 144,2 kWh. Com isso, é possível estimar qual seria a população atendida com a energia gerada.

Para uma percepção melhor, o potencial teórico de Belo Horizonte atenderia cerca de 56.787 pessoas, o que representa uma população maior do que a população de 92,8% (792) dos municípios mineiros em 2020. Já o potencial teórico de todo o estado de Minas Gerais atenderia cerca de 470.559 pessoas, o que representa uma população maior do que a população de 99,4% (848) dos municípios mineiros no ano de 2020.

Podemos concluir então que tanto o potencial de produção de biogás quanto o potencial de produção de energia elétrica a partir deste biogás de esgoto dependem diretamente da variação da população, pois conforme a população cresce ou decresce, a produção de esgoto logicamente seguirá a mesma linha, afetando assim a produção de biogás e energia elétrica em ETEs diretamente.

Gráfico 9.3 – Soma de produção teórica de biogás em Nm³/ano por mesorregião em Minas Gerais

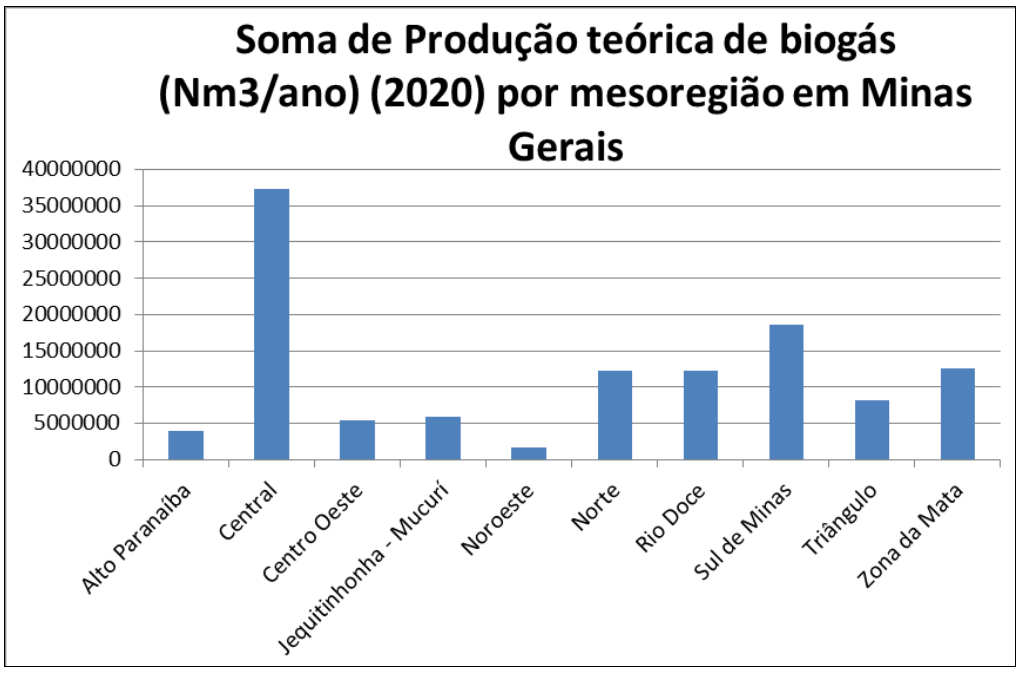


Gráfico 9.4 – Soma de potencial teórica de energia elétrica em GWh/ano por mesorregião em Minas Gerais

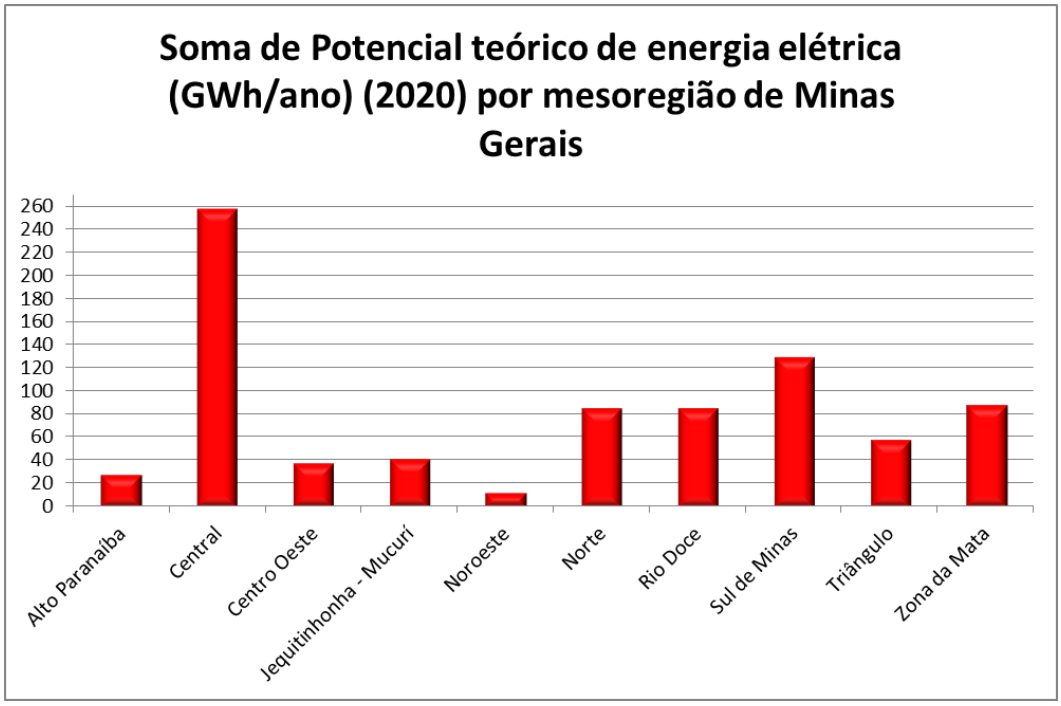
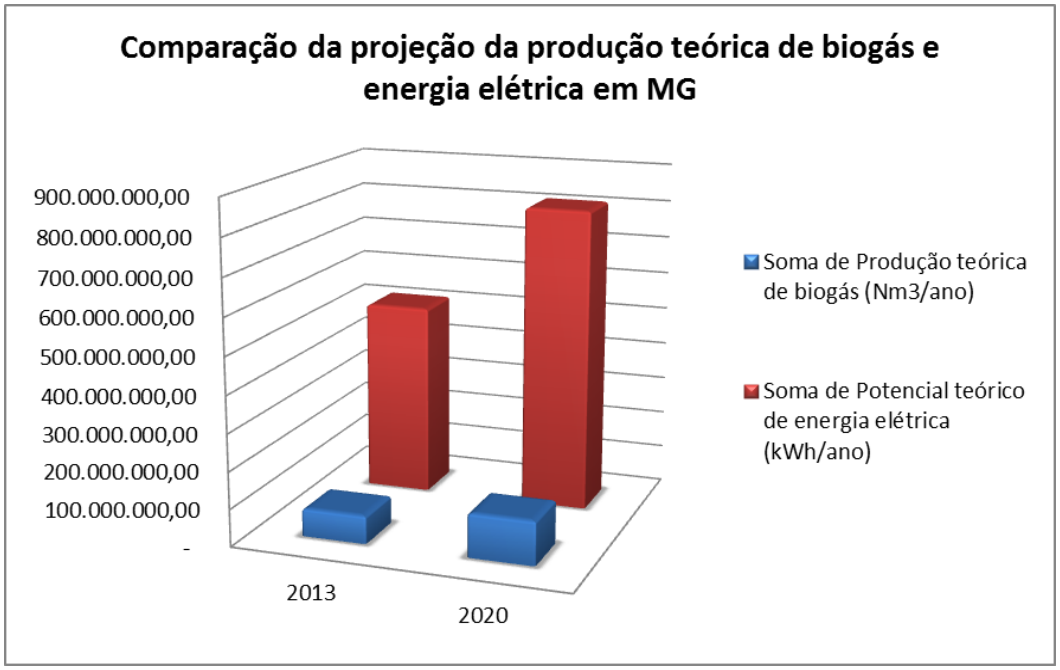


Gráfico 9.5 – Comparação da projeção da produção teórica de biogás e energia enétrica em MG nos dois cenários apresentados, 2013 e 2020



9.8 Considerações Finais

O biogás é um produto que pode ser utilizado para a produção de energia elétrica, sendo, em muitos casos, viável, principalmente em se tratando do aproveitamento do mesmo em Estações de Tratamento de Esgoto.

Osbervou-se que a variação de produção de energia está diretamente ligada à variação de geração de biogás. Esse último, varia conforme a população, já que é a mesma quem gera o resíduo a ser tratado nas ETE.

Apesar da tecnologia não ser empregada em todas as estações existentes no Estado, tal desenvolvimento é promissor e, contribuirá para a redução de emissão de gases de efeito estufa e, possivelmente, redução do consumo de energia feito por essas estações.

Capítulo 10: Atualização do Mapeamento Energético[10]

Resumo: **O Quadro de Energia vem enfrentando uma grande reforma. O desafio hoje não é apenas a geração de energia e sim soluções alternativas tanto para melhoria no setor, quanto também soluções que não afetem tanto o meio ambiente. O artigo discute o desenvolvimento de energias e novas fontes, abrangendo a situação em cada elemento visando obter geração de energia, calor ou movimento, além de novos elementos, visando desenvolvimento do setor no mundo. A situação atual no mundo em relação à geração de energia e suas novas alternativas, suas aplicações e estudos, pesquisas, para o desenvolvimento das mesmas e o para onde o futuro aponta é a principal informação do artigo. Ter um setor diversificado baseia-se nesses estudos, tomando como partida o incentivo de como está mudando o setor e como estamos caminhando para descobrir um futuro mais limpo ambientalmente, o que não acontecia no passado.**

10.1 Introdução

Uma das maiores preocupações da sociedade atual é com o aumento na demanda no setor de energia, já que este contribui com mudanças climáticas decorrentes do efeito estufa apontando para uma crise ambiental. Com o possível esgotamento de combustíveis fósseis inúmeros pesquisadores têm voltado sua atenção ao desenvolvimento de combustíveis alternativos, além das que são decorrentes numa forma de melhor utiliza-las. Daí um interesse pelos estudos da evolução e o futuro da energia.

A proposta foca no desenvolvimento de todos os meios para a geração de energia, potencializando a pesquisa numa forma objetiva, o processo de cada uma.

A Metodologia desse artigo aponta o estudo de mapa feito pela CEMIG com diferentes fontes de energias, contendo 37 tipos de tecnologias, estabelecendo as mudanças que ocorreram até agora e as que estão previstas até 2020, diante deste mapa criamos uma tabela para poder observar as fontes que obtiveram mudanças, e com isso mostrar essas tecnologias, como, onde foi ou serão desenvolvidas, seus métodos, obtendo uma analise geral da tecnologia, pesquisa e inovação visando o futuro energético e podendo atualizar este mapa.

10.2 Desenvolvimento de energias

O futuro se resumiria em tecnologia, pesquisa e inovação. Um passo importante para qualquer tema hoje no mundo, e não seria diferente quando o tema é energia, obtendo princípios, críticas, como impactos, compensações e riscos para direcionar o futuro energético.

Olhando as tendências que vem ocorrendo no mundo energético para geração de eletricidade, calor ou movimento.

Principais tendências em desenvolvimento:

10.2.1 Biomassa > Digestão > Biogás

Foi estalado um centro internacional para aprofundamento do biogás, organizando, desenvolvendo e acompanhando a tecnologia para viabilização da energia, em Foz do Iguaçu no estado do Paraná, Brasil. O mundo, da América do Sul, da América Central, da África, está arquitetando, e irão ver como acontece o emprego dessa energia, considerável que é o biogás.

Já atuante na Alemanha, esse potencial, no Brasil e em outros países, beneficiará agricultores e a própria geração de energia elétrica, resultando vários os aspectos, sem falar nos resíduos urbanos. [1]

[10] Trabalho realizado pela estagiária Cecília de Toledo Faraco Maciel, em 2014.

10.2.2 Carvão > Pulverização > Cogeração

Um processo conhecido como CDCL – Coal-Direct Chemical Looping, refere-se a um ciclo fechado, onde o carvão é consumido quimicamente de forma direta, não ocorrendo queima.

Esse processo foi testado e está pronto para ser testado numa escala maior.

A reação química consinte em controlar o carvão, para que não ocorra queima, sendo consumido quimicamente, e o dióxido de carbono fica inteiramente contido dentro do reator. Energia do carvão sem CO_2, chegou a funcionar num ciclo cerca de 200 horas. O carvão gerou o calor esperado, ao mesmo tempo em que 99% do dióxido de carbono produzido foi capturado. O CO_2 é separado e pode ser reciclado ou sequestrado, enquanto a energia termal pode ser usada para produzir eletricidade ou para alimentar caldeiras industriais. O ponto da tecnologia é o uso de esferas metálicas pequenas, para transportar oxigénio para o combustível que inicia a reação química. O carvão é pulverizado em partículas de cerca de 100 micrómetros de diâmetro, enquanto as esferas de ferro oxidado são maiores, com cerca de 1,5 a 2 milímetros de diâmetro. O carvão e o ferro são aquecidos pelo combustível a temperaturas muito elevadas, quando os dois materiais reagem entre si. O carbono do carvão liga-se com o oxigénio do óxido de ferro e cria o dióxido de carbono, que sobe para uma câmara onde é capturado, deixando para trás o ferro quente e cinzas de carvão. As cinzas do carvão são descartadas, enquanto as esferas de ferro, que são bem maiores, são peneiradas e reutilizadas.[2]

10.2.3 Carvão > Gaseificação > Gás de síntese > Hidrogênio

Um projeto de Pesquisa & Desenvolvimento previsto para seis meses está sendo feito pela companhia Riograndense de Mineração que propôs uma pesquisa para gaseificação do carvão de Candiota. A produção do mineral cria possibilidades, de retorno econômico e social em termos de energia limpa, além do encaminhamento necessário e a viabilização, poderá acontecer ampliação para outras unidades da mineradora.

A gaseificação consiste na mudança de carvão em energia , por meio de reações químicas, combinado o carvão e o oxigênio decompondo poluentes, gerando gás, como o hidrogênio [3].

10.2.4 Hidráulica > Energia cinética de correntes > Turbinas hidro cinéticas > Eletricidade

Desenvolvida pelo pesquisador Alexandre M. Gorlov, a turbina do tipo Helicoidal, apresentou rendimento e baixas vibrações. Os primeiros testes foram realizados em 1996, no Laboratório de Turbinas Helicoidais de Massachusetts, Cambridge, USA. A partir destes testes, verificaram que esta é uma máquina que ocupa pouco espaço, é leve e fácil de manusear, apresenta baixo custo de fabricação e pequena vibração mecânica. São turbinas hidráulicas capazes de gerar até 5 kW de potência, operando independentemente da direção da correnteza, gera eletricidade para abastecer pequenas propriedades rurais nas regiões ribeirinhas, nos EUA, China e Coréia [4].

10.2.5 Oceânica > Mares > Eletricidade

Em 1996 na França foi construída a primeira usina maremotriz. Hoje, os países que mais utilizam este sistema de geração de energia são: Japão, França, Coreia do Sul, Inglaterra e Estados Unidos (principalmente instaladas no Havaí). Embora tenha uma situação geográfica favorável, principalmente no litoral maranhense e na ilha de Macapá, o Brasil ainda não produz energia através deste sistema [5].

10.2.6 Oceânica > Ondas > Eletricidade

No estado do Ceará, especificamente no Porto de Pecém, já existe a geração de energia pela força das ondas do mar, um projeto-piloto de baixo impacto ambiental, onde seu funcionamento se deu em 24 de junho de 2012, quando foi gerada, pela primeira vez, energia por meio das ondas do mar. Sendo o ponto de partida a usina, pelos pesquisadores como uma fronteira estratégica na qual o Brasil pode ser o líder tecnológico. Potência nominal de 100 quilowatts, o equivalente ao consumo de 60 casas do padrão de consumo médio de energia elétrica no Estado e, mesmo em fase de teste concebe energia aceitável para ser aproveitada pelas instalações do Porto do

Pecém. Há planos de ampliação de aumentar a quantidade de braços mecânicos, hoje dois, com boias captadoras de energia do mar e a convertendo em eletricidade. Toda a estrutura é feita em módulos, que podem ser acrescentados para aumentar a potência. Basta colocar mais flutuadores. Hoje, o equipamento também acopla um protótipo de uma usina de dessalinização de água do mar. A usina também trouxe uma inovação, comparando com outras, a utilização de um coletor ajuntador e de uma câmara hiperbárica para armazenamento de água sob altas pressões, como as geradas pelas quedas d´água das hidrelétricas e as existentes no fundo do mar.

Em países europeus como Dinamarca, Reino Unido e Portugal existem entre 15 e 20 protótipos de usinas para geração de energia elétrica, a partir do movimento das ondas do mar [6].

10.2.7 Reservas não convencionais > Petróleo

A petrolífera Russa que já utiliza de alguns métodos não tradicionais, como a produção de óleo xisto, juntou-se a uma empresa americana para melhorar a produtividade em reservas de difícil extração, buscando novos métodos de extração, e novas tecnologias para poder alcançar essas reservas de petróleo, como por exemplo, o caso das jazidas entre rochas, pretendendo extrair 300 milhões de toneladas de petróleo de fontes não convencionais até 2020.[7]

10.2.8 Solar > Térmica > Com Concentração de radiação > Eletricidade

No deserto Madinat Zayed foi inaugurada uma obra com um ponto de vista ambiental grandioso, a central Shams 1 que é uma das regiões mais ensolaradas e quentes no mundo agora recebe uma central solar concentrada com potência instalada de 100 MW, tipo solar concentrada . Há outros parques solares instalados nos EUA e em Espanha do mesmo tipo. Seu funcionamento se dá aos raios solares que são direcionados por espelhos parabólicos a um tubo central, pelo qual pode circular óleo ou sal fundido. O sistema se aquece e eleva a temperatura da água que dele faz parte, podendo atingir valores médios da ordem de 400ºC. Com isso, o vapor d'água produzido movimenta turbinas que ativam um gerador elétrico. A relação entre a área ocupada por potência instalada é considerada altíssima.

Um dos requisitos desejáveis é que uma central tenha uma alta potência instalada, com consequente alta energia a ser produzida, num menor espaço possível. Para a central Shams 1, não entra nessa relação mais se for levar em conta que ela foi construída no deserto onde a forte insolação e que faz com que seria muito pouco provável que essa área seria aproveitada [8].

10.2.9 Solar > Painel fotovoltaico > Filmes finos > Eletricidade

Os painéis em Telureto de Cádmio (CdTe) lideram como produção anual de cerca de 2 GWp e ocupando no mercado cerca de 8% na produção total de painéis fotovoltaicos. Em 2011, a tecnologia de filmes finos já ocuparam 14% do mercado. Filmes finos constituem atualmente cerca de 10% a 15% dos módulos solares existentes. Eles são divididos em: i) Silício amorfo (a-Si); ii) Telureto de Cádmio (CdTe); e iii) Copper-Indium-Diselenide (CIS) e Copper-Indium-Gallium-Diselenide (CIGS) [9].

10.3 Novas energias

Hoje o setor de energia vem crescendo em busca de recursos, novas alternativas, menos poluentes, estão sendo feitas muitas pesquisas, estudos neste setor, e algas é umas delas.

Além da fotossíntese agora ele vem sendo muito usada na geração de energia. Ocupando diversos lugares, e o petróleo verde. Um prédio residencial na Alemanha é um exemplo recente.

O edifício contem 15 unidades de 50 m² a 120 m², ele é totalmente abastecido pela energia que vem das algas, por placas de vidro na fachada, captam calor solar como o gás carbônico da atmosfera. Em troca, devolvem uma biomassa que é transformada em biogás, distribuído na forma de energia elétrica ou de calor. Além de purificar o ar e acender lâmpadas, as algas funcionam como uma persiana natural, que bloqueia a luz do sol e resfria o espa-

ço interno nos dias mais quentes. A energia gerada é tamanha que o prédio não precisa de nenhuma outra fonte. Pelo contrário, o que sobra é vendido para fornecedores da rede elétrica da cidade [10].

Figura 10.1 – Edifício com a tecnologia das algas

10.4 Resultados e Discussões

Quadro 10.1 – Resultados e discussões

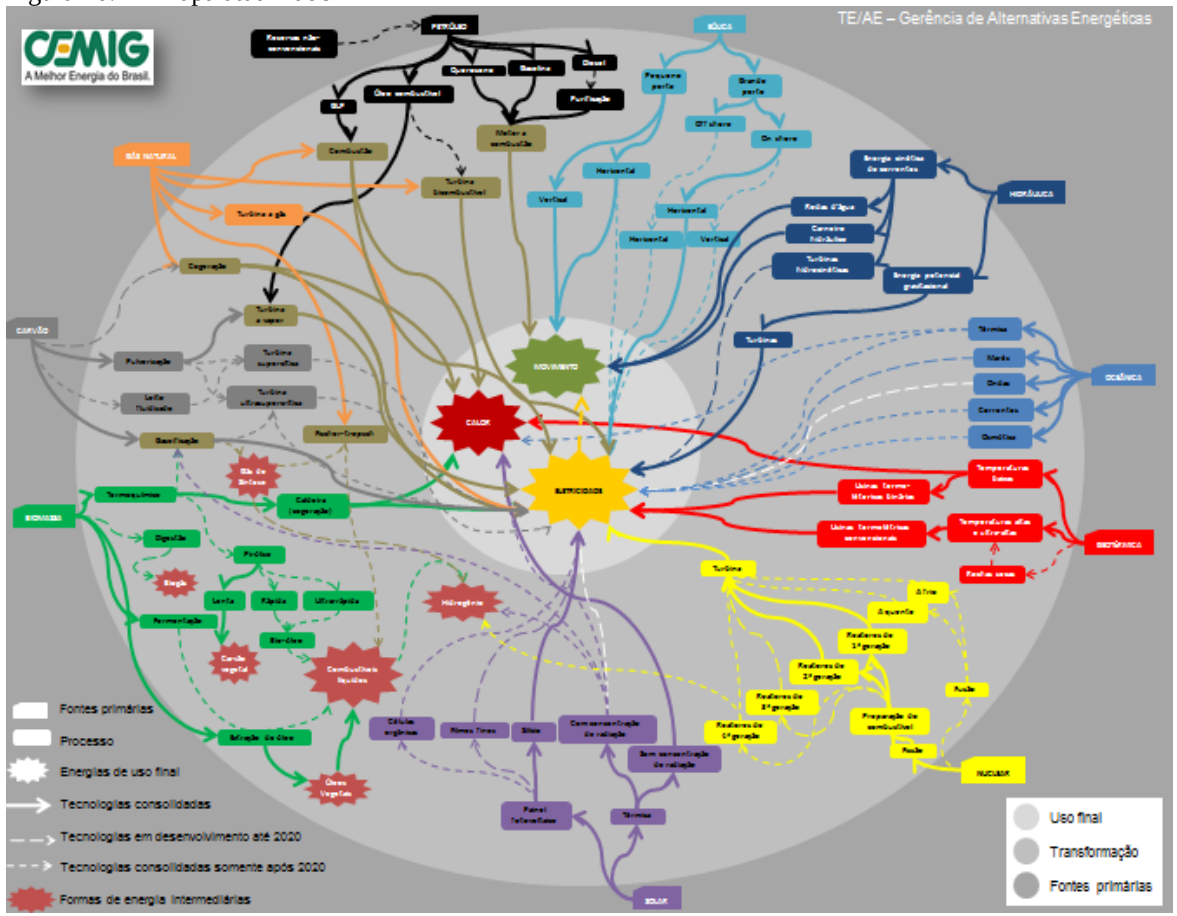
Fonte	Tecnologia	Situação 2010	Situação 2013	Referências
Biomassa	Termoquímico > Gaseificação	Após 2020	Após 2020	-
Biomassa	Termoquímico > Pirólise > Ultra rápida > Bio-óleo > Combustíveis líquidos	Após 2020	Após 2020	-
Biomassa	Termoquímico > Pirolise > Rápida > Bio-oleo > Combustíveis líquidos > Hidrogênio	Após 2020	Após 2020	-
Biomassa	Digestão > Biogás	Até 2020	Até 2020	Itaupu binacional. Centro internacional com ênfase em biogás é instalado em Foz.
Biomassa	Fermentação > Extração de óleo > Combustíveis líquidos	Após 2020	Após 2020	-
Carvão	Pulverização > Cogeração	Até 2020	Até 2020	Portal Energia, Energias Renováveis. Carvão produz calor sem combustão e sem CO2.

Carvão	Pulverização > Turbina supercrítica > Eletricidade	Após 2020	Após 2020	-
Carvão	Pulverização > Turbina Ultra supercrítica > Eletricidade	Após 2020	Após 2020	-
Carvão	Leito fluidizado > Turbina supercrítica > Eletricidade	Após 2020	Após 2020	-
Carvão	Gaseificação > Turbina ultra-crítica > Eletricidade	Após 2020	Após 2020	-
Carvão	Gaseificação > Gás de síntese > Hidrogênio	Até 2020	Até 2020	Governo do Rio Grande do Sul. Companhia Riograndense de Mineração propõe pesquisa para gaseificação do carvão de Candiota.
Carvão	Gaseificação > Gás de síntese > Fischer-tropsch > Combustíveis líquidos	Após 2020	Após 2020	-
Eólica	Pequeno porte > Horizontal > Eletricidade	Após 2020	Após 2020	-
Eólica	Grande porte > Off share > Horizontal > Eletricidade	Após 2020	Após 2020	-
Eólica	Grande porte > On share > Vertical > Eletricidade	Após 2020	Após	-
Geotérmica	Rochas secas > Temperaturas altas e Ultra altas	Após 2020	Após 2020	-
Hidráulica	Energia cinética de correntes > Turbinas hidro cinéticas > Eletricidade	Até 2020	Até 2020	CERPCH. Turbina Hidro cinética - Turbinas Convencionais
Hidráulica	Energia Potencial gravitacional > Turbinas hidro cinéticas > Eletricidade	Após 2020	Após 2020	-
Nuclear	Fusão > a frio > Turbina	Após 2020	Após 2020	-
Nuclear	Fusão > a quente > Turbina	Até 2020	Após 2020	-
Nuclear	Fissão > Preparação do combustível > Reatores de 3° geração > Turbina	Após 2020	Após 2020	-
Nuclear	Fissão > Preparação do combustível > Reatores de 4° ge-	Após 2020	Após 2020	-

	ração > Turbina ou Hidrogênio			
Oceânica	Térmica > Eletricidade	Após 2020	Após 2020	-
Oceânica	Térmica > Calor	Após 2020	Após 2020	-
Oceânica	Mares > Eletricidade	Até 2020	Até 2020	Sua Pesquisa. Energia das Mares.
Oceânica	Ondas > Eletricidade	Após 2020	Até 2020	Tribuna do Ceara. Usina de Ondas do Ceará deve ficar 100% até o fim de 2013.
Oceânica	Correntes > Eletricidade	Após 2020	Após 2020	-
Oceânica	Osmótica > Eletricidade	Após 2020	Após 2020	-
Reservas não convencional	Petróleo	Após 2020	Até 2020	Gazeta Russa. Gazprom assina parceria com Halliburton para exploração de petróleo não convencional.
Petróleo	Óleo combustível > Turbina biocombustível	Após 2020	Após	-
Petróleo	Diesel > Purificação	Após 2020	Após	-
Solar	Térmica > Com concentração de radiação > Hidrogênio	Após 2020	Após 2020	-
Solar	Térmica > Com concentração de radiação > Gaseificação	Após 2020	Após 2020	-
Solar	Térmica > com Concentração de radiação > Calor	Após 2020	Após 2020	-
Solar	Térmica > Com Concentração de radiação > Eletricidade	Após 2020	Até 2020	PT jornal. Inaugurada a maior Central de Energia Solar concentrada do Mundo.
Solar	Painel fotovoltaico > Filmes finos > Eletricidade	Até 2020	Até 2020	Programa de pós-graduação em engenharia elétrica Universidade de Minas Gerais. Ener-

				gia fotovoltaica.
Solar	Painel fotovoltaico > Células orgânicas > Eletricidade	Após 2020	Após 2020	-

Figura 10.2 – Mapa atualizado



10.5 Conclusão

A participação das fontes renováveis na matriz energética nos próximos anos será maior, tendo em vista que é preciso crescer e melhorar o setor energético no mundo. Pesquisa e investimento na área, acontece há todo momento, onde também há parcerias entre pesquisadores, universidades, países, para obter um melhor resultado.

Haverá um equilíbrio, no Brasil esse equilíbrio ocorrerá entre hidrelétricas, eólica e solar. Hoje, basicamente, a matriz elétrica é hidrelétrica e as outras fontes são complementares.

No Brasil, a energia eólica junto com a biomassa poderá gerar energia no período seco, enquanto as hidrelétricas seriam mais utilizadas no período úmido. A energia solar no Brasil será usada o ano inteiro, tendo em vista que a insolação no Brasil é muito maior que na Alemanha, que é referência quando se trata de energia solar, apesar de ter uma insolação menor que a do Brasil, o que deveria ser revisto, tanto no Brasil como em diversas outros setores de energia no mundo, para um melhor aproveitamento.

Economicamente possível atender à crescente demanda de energia do país de modo limpo e sustentável. A Revolução Energética nada mais é do que uma provocação pública, pois temos a grande noção que o setor tem que crescer, mais isso ocorrera da vontade e visão política.

Há recursos naturais de sobra mundialmente para o setor energético se tornar uma potência energética limpa, não afetando o meio ambiente e não colocando a população numa posição de risco e a novas leis estão sendo criadas para que isso ocorra.

2013

Capítulo 11: Produção de Energia Elétrica utilizando Biogás Disponível em Aterros Sanitários[11]

Resumo: **A demanda mundial por energia elétrica é crescente e o suprimento utilizando fontes renováveis que minimizem os impactos ambientais é uma possível solução. O aproveitamento do biogás proveniente de aterros sanitários como matéria-prima para atendimento a essa necessidade vem despertando interesses mundiais, pois além da utilização energética, possibilita um melhor gerenciamento ambiental, sério problema das grandes metrópoles. Pesquisas na área buscam viabilizar a produção de energia elétrica e reduzir emissões, trazendo benefícios diversos. Este artigo apresenta um estudo de caso do município de Betim/MG e estima seu potencial para produção de energia elétrica através de resíduos sólidos urbanos.**

11.1 Introdução

Grande parte dos investimentos dos setores de energia elétrica no Brasil foi realizada principalmente em fontes hídricas, justificados pela abundância desta e pelo potencial dos rios, com reflexos nos custos dessa energia.

Em 2001, uma possibilidade eminente de um apagão nacional alertou o governo da necessidade de diversificar as fontes energéticas brasileiras. Essa crise causou não apenas um impacto econômico, devido ao racionamento de energia, mas também aumento do desemprego, *déficit* da balança comercial, aumento da inflação, redução da arrecadação de impostos [1].

Atualmente, as barragens se encontram a níveis preocupantes, levando à inserção imediata das termelétricas, utilizando gás natural ou óleo combustível, fontes poluentes e finitas, gerando emissões de gás carbônico, além de outros gases do efeito estufa (GEE), aumentando os impactos ambientais, além das preocupações econômicas e da segurança energética.

A matriz energética elétrica brasileira é em sua maior parte renovável constituída principalmente por fonte hídrica, mas nos últimos anos houve muitas dificuldades no licenciamento ambiental das usinas hidrelétricas, atualmente construídas no regime de fio d'água, com um baixo potencial de armazenamento [2]. Sua construção causa impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade através do alagamento de vastas áreas, deslocamento de população, desequilíbrio da fauna e flora.

Neste contexto, fontes como solar, eólica e biomassa se apresentam como alternativas energéticas, fontes renováveis de grande importância no cenário nacional.

Dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) mostram que a utilização destas fontes vem crescendo, gerando oportunidades a fim de suprir o mercado, que cresce graças ao desenvolvimento econômico do Brasil, possibilitando diversificação da geração e aumentando a segurança energética do Sistema Interligado Nacional (SIN) [2].

Em 2012, a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo com 42,4%, enquanto os dados mundiais apontam a participação de aproximadamente 13% [2].

A utilização da biomassa vem se tornando uma fonte bastante atrativa para produção de energia elétrica visto que é subaproveitada. Podem-se obter os chamados biocombustíveis, produzidos a partir de produtos agrícolas e outras fontes de matéria orgânica [3].

Com a questão dos impactos ambientais e também do gerenciamento de resíduos, que é um enorme problema nos grandes centros urbanos, o aproveitamento do biogás gerado na degradação dos resíduos sólidos urbanos

[11] Trabalho realizado pela estagiária Alessandra Chagas Daniel, em 2013.

(RSU) para geração de energia elétrica torna-se de interesse relevante. Além de reduzir as emissões de GEE, podem reduzir também impactos na população que reside em torno desses locais, que convive com fortes odores, poluição, animais que transmissores de doenças, riscos de explosão, ocasionando mal estar e riscos à saúde.

Pesquisas sobre aproveitamento energético do biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos estão sendo realizadas no Brasil, de forma a viabilizar a introdução dessa tecnologia para produção eficiente de eletricidade.

O objetivo deste artigo é analisar a utilização da energia do biogás na geração de energia elétrica, estimar a geração de metano emitido em um aterro sanitário no município de Betim/MG, localizado na região metropolitana de Belo Horizonte e avaliar os benefícios que esta tecnologia pode trazer a sociedade e o meio ambiente.

11.2 Revisão Bibliográfica

11.2.1 Resíduos sólidos Urbanos

A utilização de biomassa para produção de energia destacou-se nacionalmente desde as crises energéticas de 1970, onde houve supressão no fornecimento de petróleo, atingindo o mundo inteiro [4].

Os resíduos sólidos urbanos são provenientes de atividades humanas, lançadas no ambiente. Sua composição varia conforme característica de cada cidade. Podem ser aproveitados como fonte de biomassa na produção de energia elétrica, alvo deste trabalho.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 10004, define resíduos sólidos como resíduos nos estados sólidos ou semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Incluem-se os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos, instalações de controle de poluição e líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto, ou exijam soluções técnicas economicamente inviáveis [5].

Os resíduos sólidos urbanos são considerados fontes renováveis visto que a sociedade está constantemente gerando lixo.

A decomposição anaeróbia da matéria orgânica promove a produção do biogás, composto principalmente de metano e dióxido de carbono, que pode ser utilizado para geração de energia elétrica.

O metano liberado no ar, em aterros sanitários, tem um poder de impactar no efeito estufa em aproximadamente vinte vezes mais que o gás carbônico e devido a isso, o biogás é queimado em *flares*, equipamento que canaliza o gás, para que o metano não seja emitido diretamente para a atmosfera [3].

Em 2011, foram gerados no Brasil aproximadamente 198 mil toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos, equivalente a 62 milhões de toneladas por ano [6].

A região Sudeste apresenta cerca da metade dos resíduos gerados no país. A segunda região com a maior geração desses efluentes é o Nordeste, em torno de 25%. Abaixo dela seguem as regiões Sul, Centro-Oeste e Norte que geram entre 7% e 10% cada uma [6].

A utilização do biogás gerado pelos resíduos sólidos urbanos não pode ser visto como uma solução para os problemas energéticos do país, visto que a demanda por energia elétrica é muito grande, mas poderá contribuir como geração distribuída, além de melhorar a questão de gerenciamento de resíduos, transformando o que seria uma questão ambiental crítica em um produto de valor agregado [4].

11.2.2 A utilização de biogás de resíduos na produção de energia elétrica no Brasil

Grande parte da produção de biogás no Brasil acontece no meio rural, aproveitando os resíduos agropecuários [4].

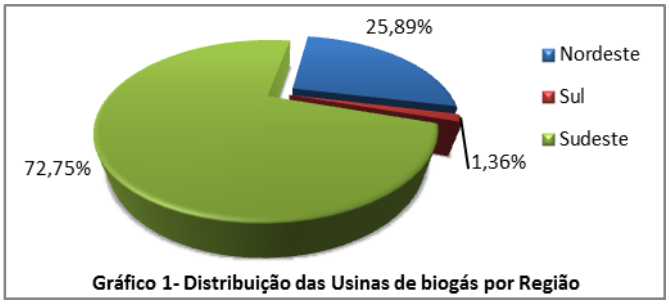
Atualmente existem vinte e duas usinas de produção de energia elétrica no país utilizando biogás como fonte, conforme tabela 11.1.

Tabela 11.1 – Usinas de biogás em operação no Brasil [7]

Usina	Potência (kW)	Município
Salvador	19.730	Salvador – BA
Bandeirante	20.000	São Paulo – SP
São João Biogás	21.560	São Paulo – SP
Energ-Biog	30	Barueri – SP
Unidade Industrial de Aves	160	Matelândia – PR
Unidade Industrial de Vegetais	40	Itaipulândia – PR
ETE Ouro Verde	20	Foz do Iguaçu – PR
Star Milk	110	Céu Azul - PR
Granja São Pedro/Colombari	80	São Miguel do Iguaçu – PR
Asja BH	4.278	Belo Horizonte – MG
Arrudas	2.400	Belo Horizonte – MG
Ambient	1.500	Ribeirão Preto – SP
Granja Makena	80	Patrocínio - MG
Ajuricaba	80	Marechal Cândido Rondon – PR
Fazenda Nossa Senhora do Carmo	80	Ituiutaba - MG
Uberlândia	2.852	Uberlândia - MG
Granja São Roque	424	Videira - SC
Cetrel Bioenergia JB	874	Cachoeirinha - PE
Fazenda Da Luz	90	Abelardo Luz - SC
Cogeração Bio Springer	848	Valinhos - SP
CTR Juiz de Fora	4.278	Juiz de Fora - MG
José Carlos Colombari	80	São Miguel do Iguaçu- PR
Total: 22 Usinas	Total: 79.594 kW	

A maior parte da energia produzida é consumida nas próprias instalações e o residual é comercializado.

Gráfico 11.1 – Distribuição das Usinas de Biogás por Região



Percebe-se um maior aproveitamento energético do biogás na região Sudeste, onde se concentra a maior parte das Usinas, acompanhando a geração de resíduos no Brasil.

O Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) considera a possibilidade de instalação de até 1.300 MW para os próximos 25 anos utilizando RSU [8].

11.2.3 Processo de Degradação da Matéria Orgânica

A ABNT define aterro sanitário como uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais [9]. Este método utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou à intervalos menores se for necessário.

O processo de degradação do material orgânico que ocorre nos aterros sanitários é realizado por micro-organismos através da digestão anaeróbia, onde não há presença de oxigênio, devido à compactação do solo das camadas de terra, da pressão, o que limita a entrada de oxigênio produzindo o biogás, conforme equação abaixo. É uma interessante opção de tratamento de resíduos [3].

$$Matéria\ Orgânica \rightarrow CH_4 + CO_2 + energia$$

Dessa forma ocorre a decomposição da matéria orgânica formando assim o biogás e produtos líquidos como o chorume. O solo deve ser impermeabilizado, para que não ocorra contaminação de águas subterrâneas e do próprio solo [3].

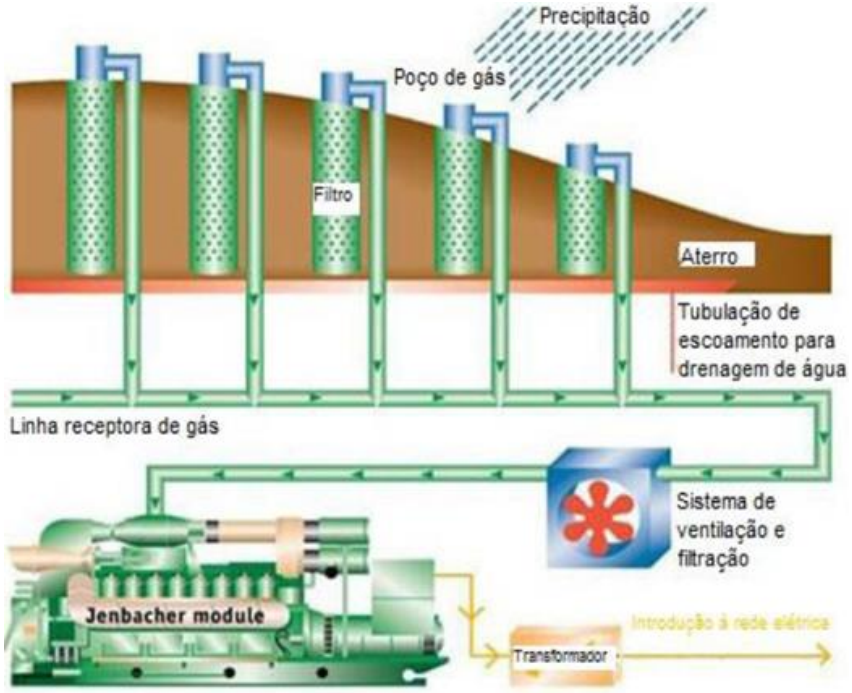
Como é um processo biológico, existem vários parâmetros para geração do biogás, como temperatura, pH, composição, umidade, entre outros [4].

O biogás formado é composto tipicamente por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas [3].

Existe uma grande dificuldade de estabelecer o valor energético presente nos resíduos sólidos urbanos visto que vem de fontes diversas e podem apresentar poder calorífico variado. Tal variação está diretamente associada à atividade humana, ao consumo em função dos dias da semana e as estações, dentre outros [4].

Nos aterros sanitários o biogás é recolhido por tubulações e tratado. Normalmente deve-se receber no mínimo 200 t/dia, capacidade de 500.000 t e altura de 10 m para que a produção de energia elétrica se torne viável [4]. Um modelo do processo está exemplificado na figura 11.1.

Figura 11.1 – Esquemático do processo de recolhimento, purificação e produção de energia por gases de aterros sanitários [4]



Em aterros sanitários bem planejados pode-se recuperar grande parte dos gases gerados nos sistemas de drenagem, podendo chegar a 90% [11].

A combustão completa do metano proveniente do biogás produz dióxido de carbono que possui 21 vezes potencial menor de aquecimento global, reduzindo o impacto na geração dos GEE, agredindo menos a atmosfera [11].

A geração de eletricidade em aterros é realizada com módulos geradores, instalados e desinstalados de acordo com o potencial de geração do biogás local [11].

11.2.4 Tecnologias utilizadas para produção de energia elétrica com o biogás

Atualmente existem diversas tecnologias para produção de energia elétrica. A energia química é convertida em energia mecânica por combustão controlada [12]. As mais usuais são apresentadas no quadro a seguir.

Tabela 11.2 – Tecnologias de conversão energética de biogás [3] [12]

Tecnologia	**Tamanho recomendado para a planta (MW)**	**Eficiência de conversão elétrica (%)**
Microturbinas a Gás	<0,100	25-30
Motores de combustão interna	0,5 a 12,0	25-35
Turbinas a Gás	3,0 a 18,0	20-28
Turbinas a Vapor	10,0 a 50,0	20-31
Sistema de Ciclo Combinado	>10,0	26-40

Uma das alternativas mais comumente utilizadas para conversão de biogás de aterro sanitário em energia elétrica são os Motores de Combustão Interna (MCI's), em virtude do baixo custo de investimento se comparado com outras tecnologias, boa eficiência, facilidade de operação e manutenção, não necessitam de um tratamento sofisticado do biogás [3].

Turbinas a vapor utilizam o calor que aquecerá a caldeira para formação do vapor, acionando a turbina acoplada ao gerador. O custo com manutenção é relativamente alto, se comparado com os MCI's [12].

Turbinas à gás geralmente são utilizadas em projetos maiores, com elevada geração. Apresentam alta eficiência, mas os custos são com investimento, manutenção e operação são elevados.

Sistemas de ciclo combinado, utilizando turbinas a gás e vapor, necessitam de alto investimento, maior área para implantação, possuem altos custos de manutenção e operação [3].

As microturbinas necessitam de uma purificação do biogás que aumenta o custo do sistema de captação, além dos custos de manutenção elevado e trabalharem em baixas potências [3].

Dessa forma a melhor opção para esse tipo de empreendimento, considerando que o tempo de operação é relativamente curto, são os MCI´s .

Os MCI's mais utilizados e encontrados no mercado são os de ciclo Otto, em que a ignição é provocada por uma centelha e de ciclo Diesel, onde a combustão ocorre com a compressão da mistura ar-combustível [10]. A desvantagem dessa tecnologia é a elevada emissão de NOx e CO. Devido a isso é necessário à utilização de filtros especiais que reduzem as emissões desses gases [3].

Assim que a rede estiver conectada ao sistema de aproveitamento, pode-se iniciar a conversão em energia elétrica. É necessário que os equipamentos estejam adequados para o uso do biogás [12].

11.3 Estudo de Caso da Cidade de Betim

O município de Betim está localizado na região metropolitana de Belo Horizonte, com um território de 342,8 km^2, possui 378.089 habitantes [13]. O Plano Municipal de Resíduos Sólidos, desenvolvido pela Secretaria de Infraestrutura da Prefeitura Municipal de Betim em 2010, voltado para o manejo adequado de resíduos e que visa atender a Lei Federal n° 11.445, estabelece regras para a gestão de resíduos sólidos, responsabilidades, incentivos à indústria de reciclagem [13]. Ele disponibiliza diversos dados que serão utilizados para estimativa de geração de energia elétrica.

O aterro sanitário da cidade foi implantado e licenciado em 1996, sendo pioneiro no licenciamento ambiental no estado de Minas Gerais [13].

Figura 11.2 – Vista geral do aterro sanitário de Betim [13]

A Central de Tratamento de Resíduos Sólidos recebe resíduos domiciliares, comerciais, públicos, podas e de serviços de saúde do município [13]. As características dos resíduos, composição gravimétrica e as quantidades estão a seguir.

Gráfico 11.2 – Caracterização quantitativa dos resíduos [13]

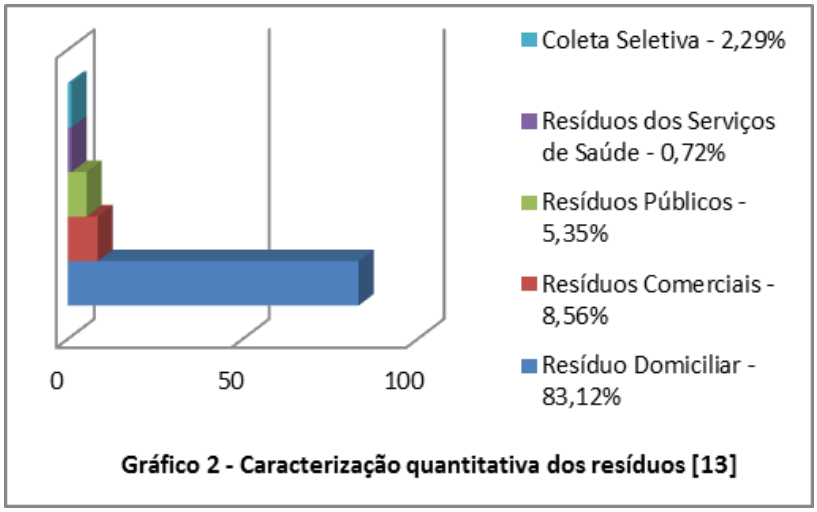


Gráfico 11.3 – Composição gravimétrica dos resíduos

domiciliares do Município de Betim [13]

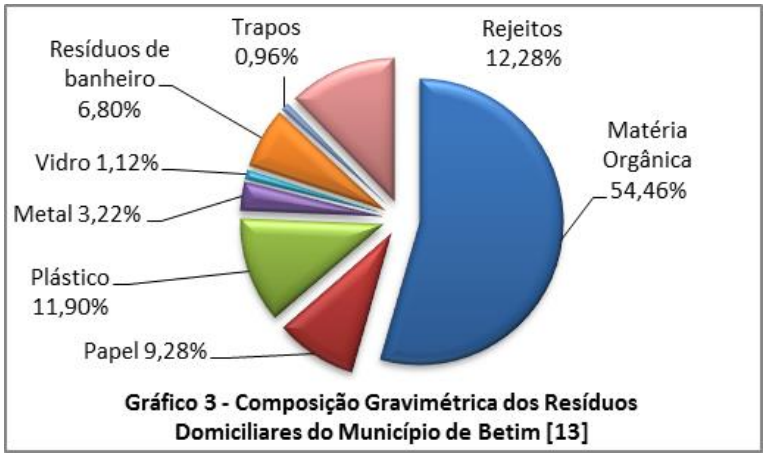


Tabela 11.3 – Quantidade de resíduos sólidos domiciliares gerados [13]

Ano	Resíduos Domiciliares (kg/ano)
1997	26.988.530
1998	35.886.100
1999	39.931.060
2000	43.857.325
2001	43.297.245
2002	48.879.985
2003	45.961.430
2004	47.519.640
2005	50.360.590
2006	53.413.550
2007	55.741.650
2008	38.142.990

Cálculos foram realizados para estimar a geração de metano e potencial para a produção de energia elétrica. Os resultados serão apresentados no tópico a seguir.

11.4 Resultados

11.4.1 Metodologia

O aterro sanitário de Betim está em operação desde 1996 e o fechamento está previsto para 2016 [13].

A metodologia considera o aterro construído, sem custos de implantação, e que a pretensão é o aproveitamento do potencial energético para produção e venda de energia elétrica.

O motor a ser utilizado deve considerar que será utilizado o biogás como combustível para a geração de eletricidade, ou seja, ele deve estar preparado para o uso. Nesse caso, foi considerada a eficiência de 28% para um motor de combustão interna de ciclo Otto [3].

Para os cálculos, foram considerados apenas os resíduos sólidos domiciliares, pois estes são 83,12% do total e os dados estão disponibilizados e classificados qualitativamente.

Para estimar a produção de metano no aterro, utilizou-se a metodologia *Intergovernamental Panel on Climate Change* (IPCC) [14]. Essa metodologia é reconhecida mundialmente e utilizada em várias pesquisas no Brasil. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) utiliza seu modelo matemático para estimar a produção de metano em estudos diversos, pois são considerados vários aspectos dos resíduos como fator de correção do metano, os tipos de resíduos, a taxa de degradação de diferentes frações de carbono orgânico degradável, entre outros [15]. É uma metodologia muito utilizada, pois pode representar valores próximos da realidade do aterro para produção de energia elétrica.

Com os dados coletados do Plano Municipal de Resíduos Sólidos, da Secretaria de Infraestrutura de Betim [13], foi possível calcular o potencial de geração do biogás através da metodologia, utilizando as equações do IPCC. Com as informações tabuladas em planilhas eletrônicas do *software Microsoft® Excel* foi possível realizar os cálculos e analisar os resultados de forma a selecionar os números mais relevantes para o estudo.

Para estimar a quantidade de resíduos gerados após 2008, que não se obteve na bibliografia, foi realizada uma regressão linear, considerando dados estimados de população do documento de projeção da população de Minas Gerais, documento da Fundação João Pinheiro [16] e dos resíduos gerados anualmente obtidos no documento da Secretaria de Infraestrutura de Betim [13]. Através destas informações plotou-se um gráfico em uma planilha eletrônica do *software Microsoft® Excel*, relacionando o crescimento populacional e os resíduos gerados por ano. Dessa forma estimou-se os resíduos gerados extrapolando a curva obtida.

11.4.2 Cálculos

Conforme apresentado no gráfico 4, os resíduos no município de Betim, passíveis de geração do biogás, são compostos por 54,46% de matéria orgânica e 9,28% de papel, 6,8% de resíduos de banheiro, 0,96% de trapos no total de 71,5% [13].

A estimativa da quantidade de resíduos gerados após 2008 foi realizada plotando-se um gráfico utilizando os dados consolidados de resíduos [13] e população [16] através de regressão linear. Como o valor de R2 foi de 0,8701 apresentando os dados bem próximos da curva, considerou-se um modelo razoável para estimativa de resíduos. Dessa forma extrapolou-se a curva e determinou-se a quantidade de resíduos até o ano de 2016, quando o aterro será desativado. Segue o resultado da regressão linear e resultados obtidos.

Gráfico 11.4 – Estimativa da evolução da geração de resíduos

a partir do crescimento populacional

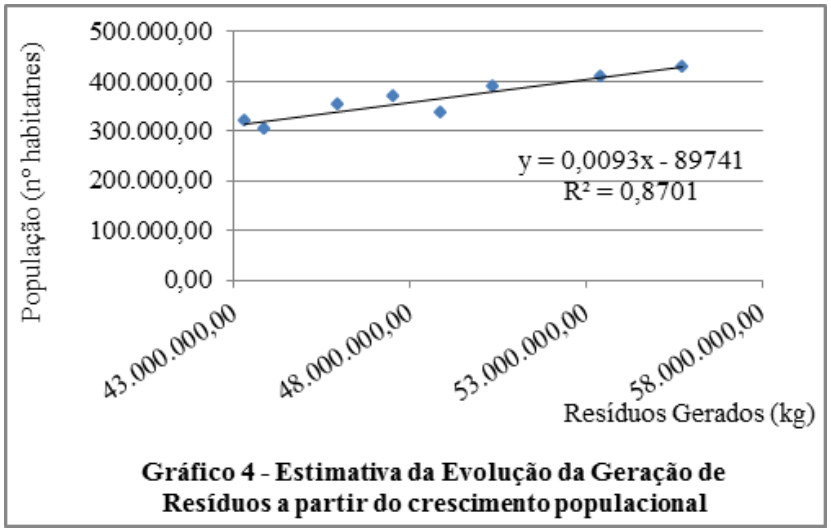


Gráfico 4 - Estimativa da Evolução da Geração de Resíduos a partir do crescimento populacional

Tabela 11.4 – Dados consolidados e dados estimados da Qquantidade de Rresíduos gerados por ano [13] [14]

Ano	Resíduos Domiciliares (kg/ano)	População (n°habitantes)	População (estimada) (n° habitantes)	Resíduo (estimado) (kg/ano)
1997	26.988.530	-	-	-
1998	35.886.100	-	-	-
1999	39.931.060	-	-	-
2000	43.857.325	303.588	-	-
2001	43.297.245	319.010	-	-
2002	48.879.985	335.216	-	-
2003	45.961.430	352.245	-	-
2004	47.519.640	370.139	-	-
2005	50.360.590	388.942	-	-
2006	53.413.550	408.700	-	-
2007	55.741.650	429.462	-	-
2008	38.142.990	429.507	-	-
2009	-	-	441.748	57.149.354,84
2010	-	-	453.361	58.398.064,52
2011	-	-	464372	59.582.043,01
2012	-	-	474815	60.704.946,24
2013	-	-	484758	61.774.086,02
2014	-	-	494255	62.795.268,82
2015	-	-	503359	63.774.193,55
2016	-	-	512124	64.716.666,67

Para calcular o volume de metano produzido no aterro anualmente, temos:

$$Pger_{CH4} = FCM \times C_{deg.} \times C_{dis.} \times F \, x \frac{16}{12} \quad (2)$$

Em que:

PgerCH_4= potencial de geração de CH_4 (m^3biogás/kgRSD)

FCM = fator de correção do metano

$C_{deg.}$ = fração de carbono orgânico degradável (kgC/kgRSD)

$C_{dis.}$ = fração de Cdeg dissociada (kgC/kgRSD)

F= fração de metano no biogás: 60% [9]

16/12= conversão de carbono para metano

RSD = resíduo sólido domiciliar

De acordo com IPCC [14], o fator de correção de metano varia em função do local de disposição do resíduo, conforme tabela abaixo:

Tabela 11.5 – Fator de Correção do Metano [13]

Local de Disposição	**FCM**
Lixão	0,4
Sem categoria	0,6
Aterro Controlado	0,8
Aterro Sanitário	1,0

Considerando que o aterro de Betim é um aterro bem gerenciado, temos FCM =1.

A fração de carbono orgânico degradável (Cdeg.) depende da composição dos resíduos depositados no aterro e é calculada da seguinte forma:

$$C_{deg.} = 0{,}4A + 0{,}16 \times (B + C) + 0{,}3D \quad (3)$$

Em que:

A: papel=9,28%

B+C: alimentos e resíduos orgânicos =62,22%

D: madeira= não citado

Dessa forma, Cdeg.=0,13667

Para o cálculo da fração do carbono dissociado, que indica a fração de carbono de carbono degradável que está disponível para a decomposição bioquímica, temos:

$$C_{dis.} = 0{,}014T + 0{,}28 \quad (4)$$

T: temperatura na zona anaeróbia do aterro é normalmente estimada em 35°C [9].

$C_{dis.}$=0,77

Substituindo todos os valores, tem-se PgerCH_4 = 0,08419 kgCH_4/kgRSD. Para conversão em volume divide-se a massa encontrada pela densidade do metano na CNTP que é 0,7168 kg/m^3 (0°C e 1 bar). Obtêm-se um potencial de volumétrico de geração de metano de 117,453 m^3CH_4/tRSD.

Em posse desses dados, calcula-se a vazão de metano de acordo com a equação a seguir:

$$vazão_{CH4} = \sum A \times k \times R_x \times Pger_{CH4} \times e^{-k(x-T)} \quad (5)$$

Em que:

A: (1-e-k)/k; fator de normalização para corrigir a soma;

Rx: fluxo de resíduo no ano (tRSD)

x: ano vigente

T: tempo de deposição do resíduo no aterro

k: constante de acordo com o clima tropical.

De acordo com o IPCC, k = 0,07 para o papel e k = 0,17 para resíduos orgânicos. Fazendo uma média, teremos k = 0,12.

Para o cálculo da potência:

$$P_x = \frac{Q_x \times Pc_{metano} \times \eta \times E}{31536000} \quad (6)$$

Tem-se:

Px: potência disponível a cada ano (kW)

Qx: vazão de metano a cada ano (m^3CH_4/ano)

Pc: poder calorífico de metano = 35800 kJ/m^3 CH_4 [3]

η: Eficiência do motor = 28% [9]

Ec: eficiência de coleta de gases (%) = 75%, considerando que o sistema de coleta foi bem projetado e minimizado fraturas de escape do biogás [3].

Dessa forma, substituiu-se os dados anuais e calculou-se a vazão de metano por hora e Potencial de geração de energia. Os resultados finais estão demonstrados na tabela a seguir.

Tabela 11.6 – Resultados de vazão de emissão de metano, potência e energia disponíveis

Ano	Vazão de CH_4 por ano (m^3 CH_4/ano)	Potência (kW)
1996	0	0,00
1997	443.519,06	105,73
1998	983.104,39	234,37
1999	1.528.146,96	364,30
2000	2.076.079,07	494,93
2001	2.552.847,12	608,58
2002	3.067.447,04	731,26
2003	3.475.893,82	828,63
2004	3.863.760,63	921,10
2005	4.254.454,71	1.014,24
2006	4.651.140,43	1.108,80
2007	5.041.228,20	1.201,80
2008	5.097.995,45	1.215,33
2009	5.460.686,73	1.301,80
2010	5.802.885,85	1.383,37
2011	6.125.846,28	1.460,37
2012	6.430.739,85	1.533,05
2013	6.718.726,01	1.601,71
2014	6.990.928,55	1.666,60
2015	7.248.437,81	1.727,99
2016	7.492.316,28	1.786,12
2017	6.604.853,29	1.574,56
2018	5.804.479,51	1.383,75
2019	5.088.581,33	1.213,09
2020	4.447.783,24	1.060,33
2021	3.368.629,34	803,06
2022	2.518.242,15	600,33
2023	1.834.700,36	437,38
2024	1.312.657,99	312,93
2025	869.946,85	207,39
2026	515.042,17	122,78
2027	229.849,55	54,79
2028	0,00	0,00

Com os dados, plotou-se os gráficos dos comportamentos das emissões de metano, potência e energia disponível de acordo com o ano de depósito do resíduo.

Gráfico 11.5 – Vazão anual de Metano

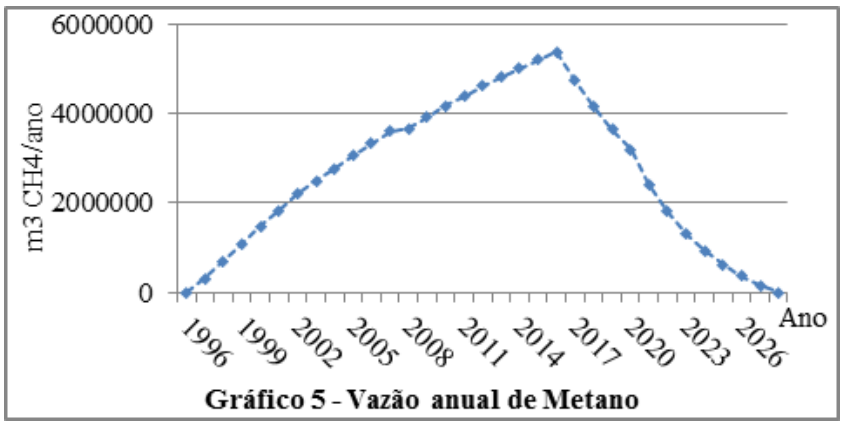
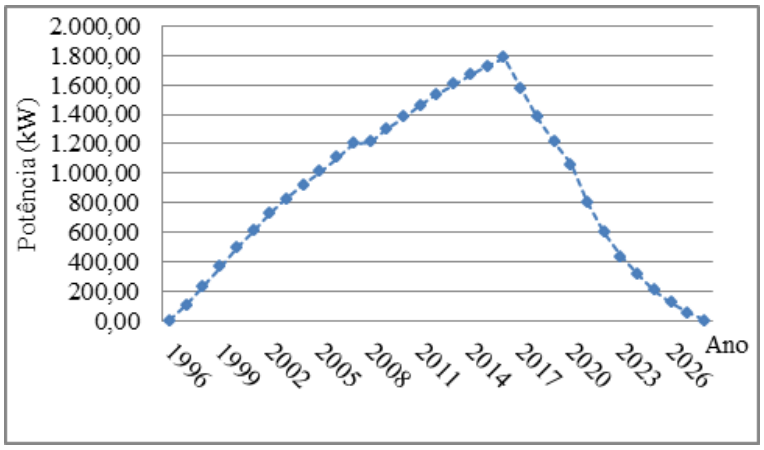


Gráfico 11.6 – Potencial de Geração de Energia Elétrica



a) Discussão dos Resultados

Conforme já citado, o biogás formado é composto tipicamente por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas [3].

O dióxido de carbono é o estado mais oxidado do carbono e por isso não é aproveitado para a geração de energia. Dessa forma os cálculos foram realizados utilizando somente o poder calorífico do metano. Os outros gases não foram considerados na combustão devido à sua baixa concentração.

O comportamento das curvas foi de acordo com o esperado, aumentando gradativamente até atingir um ápice em 2016, quando o aterro é desativado e o depósito de resíduos cessa. Os gráficos demonstraram mesmo comportamento, pois a variação do metano em relação à potência gerada é diretamente proporcional, linear e de primeira ordem.

Percebe-se a produção de metano vai até 2028, quando resíduos estarão totalmente degradados.

Segundo dados da Empresa de Energia Elétrica (EPE), o consumo médio de energia em residências da região sudeste é de 179 kWh mensais [17]. Dessa maneira, se considerarmos os dados da tabela 6, a potência de energia elétrica média mensal do ano de 2013 será em torno de 133,42 MW. Então, a energia disponível mensalmente será 96,1 MWh, sendo possível atender uma demanda de mais de 500 residências.

Deve-se considerar que esse valor de potência não é estático, pois pode-se observar pelo gráfico 6 que no início da operação, o potencial de geração é baixo. E isso deve ser levado em consideração ao se planejar um empreendimento deste nível, para não ocorrer custos acima do necessário ao aterro sanitário.

11.5 Informações

Acrescenta-se que quanto maior o desenvolvimento econômico da sociedade, maior a emissão de resíduos e maior o desafio de gerir o problema dos aterros sanitários. A emissão de metano tem aumentado em função do número de habitantes.

Além disso, existe ainda o incentivo financeiro do Mecanismo do Desenvolvimento Limpo (MDL), permitindo a participação de países emergentes no intuito de reduzir emissões de gases do efeito estufa, não comprometendo o crescimento econômico [18]. Viabilizando a implantação do MDL, é possível desenvolver de forma sustentável, com um retorno financeiro com a venda de crédito de carbono. Esta questão não foi considerada neste trabalho devido à amplitude da discussão proveniente desse assunto. Deve-se analisar a viabilidade da implantação de acordo com o preço da tonelada de dióxido de carbono vigente na época.

11.6 Conclusão

Existem vários aterros sanitários no Brasil e percebe-se que há um grande desperdício de energia, quando não se aproveita o biogás gerado.

O aterro de Betim foi construído com o sistema de captação de gases, pois é uma obrigação dos municípios conforme NBR 8419 [9]. Atualmente a energia é queimada em *flares* e por isso, todos os cálculos estimaram a energia que poderia ter sido aproveitada, pois esta, de fato, foi desprezada.

O biogás pode ser bem aproveitado e um planejamento bem feito, poderá viabilizar a implantação da captação para geração elétrica. Incentivos governamentais são muito bem vindos, pois os investimentos são muito altos.

Deve-se salientar ainda que o metano é um dos maiores contribuidores para o efeito estufa. A gestão correta de um aterro sanitário poderá reduzir os impactos ambientais desses resíduos, gerar eficiência energética e ainda contribuir para o bem estar da população que vive próxima desses lugares que não terão que conviver diariamente com seus desagradáveis efeitos.

A metodologia permitiu calcular a vazão teórica do metano e foi muito eficiente, pois considerou vários fatores relevantes, adequada para o objetivo do trabalho e retratou uma aproximação da energia elétrica que poderia ser gerada no aterro sanitário de Betim.

Estimar e planejar a implantação de um aterro sanitário que torne viável um sistema de aproveitamento da energia do biogás não é trivial, mas pode trazer muitas vantagens para a sociedade, sendo uma solução muito eficaz para problemas provocados pela emissão do gás metano, reduzindo o impacto no efeito estufa e possibilitando a produção de energia elétrica.

É certo que o investimento na infraestrutura de um sistema de captação apresenta elevados custos e muitas vezes o retorno financeiro pode não compensar os gastos, mas deve-se pensar principalmente nas questões ambientais e no desenvolvimento sustentável, pois as emissões mundiais tendem a aumentar e ações como esta serão de grande valia para as próximas gerações.

Capítulo 12: Energia Nuclear: situação atual e perspectivas futuras[12]

12.1 Histórico

Desde a antiguidade, teorias atômicas já estavam sendo desenvolvidas por filósofos gregos, porém, só no século XIX Dalton afirmou a existência do átomo. Após essa afirmação diversos cientistas progrediram com os estudos até chegarem ao estado atual do desenvolvimento dessa teoria, que culmina na fusão nuclear, ainda em fase de estudo (MARTINS, 2013).

O estudo do átomo foi realizado por diversos cientistas ao longo de séculos, mas foi só em 1896 que Henri Becquerel observou a radioatividade do Urânio. Alguns anos depois a esta observação o casal Pierre e Marie Curie, descobriram outros elementos radioativos como tório, rádio e polônio. Em 1935 Enrico Fermi, através de experiências, produziu núcleos radioativos artificialmente, através do bombardeamento de nêutrons. Na época, o físico ainda não tinha conhecimento, mas o que tinha observado era a fissão nuclear. Foi só em 1938 que, Otto Hahn, Lise Meitne e Fatz Strassman, chegaram a descobrir efetivamente a fissão nuclear. Após esse acontecimento diversos experimentos foram realizados no qual acabaram por demonstrar a reação em cadeia (MONGELII, 2006).

O desenvolvimento dos estudos do núcleo atômico atrelado ao início da Segunda Guerra Mundial, em 1939, levou Albert Einstein a enviar carta para o governo, o então Presidente Roosvelt, alertando sobre a importância do que estava sendo descoberto. Nesta carta, Einstein informava que o desenvolvimento do estudo da fissão possibilitaria a confecção de bombas extremamente potentes e produção de grande quantidade de energia. O que de fato ocorreu anos mais tarde (MARTINS, 2013).

A descoberta da fissão nuclear acabou por favorecer inicialmente a construção de armas nucleares. Somente após a primeira crise do petróleo, em 1973, com o aumento do preço do mesmo é que a energia nuclear passou a ser vista como alternativa para produção de energia elétrica em grande escala. Esse fato que fomentou a busca em escala global por fontes alternativas de energia, através do aumento de investimento em pesquisa e desenvolvimento (RATTNER, 2008).

A partir desse cenário, discussões em torno do aprimoramento do setor elétrico ocorrem até os dias atuais por todo o mundo. A busca por uma energia que traga segurança energética, econômica e ambiental, é cada vez mais presente nas rotinas dos países no que se diz respeito da diversificação da matriz elétrica, buscando sempre sustentabilidade e eficiência (BARROS, 2007).

Usinas Nucleares geram energia por quase todo o ano, uma vez que não dependem diretamente de fatores climáticos, como sol, chuva e ventos, trazendo assim a tão sonhada segurança energética para os países que aproveitam essa fonte. Além disso, o desenvolvimento dessa fonte busca uma solução definitiva para o então problema, energia, com reatores de fusão (ELETROBRÁS ELETRONUCLEAR, 2011).

É possível verificar três fases do desenvolvimento da energia nuclear, sendo a 1ª fase a Expansão (1970 a 1986), que foi caracterizada pelo desejo de enfrentar a dependência pelo petróleo e de atender ao crescimento da demanda por energia elétrica no mundo. A 2ª fase (1986 a 2000) conhecida como Revisão, foi influenciada pelos acidentes ocorridos em Chernobyl e Three Miles Islands, sendo caracterizada por uma avaliação detalhada em relação ao aproveitamento da energia nuclear, quando foram reavaliadas medidas de segurança e diminuição na expansão do aproveitamento dessa fonte. E a 3ª fase, que vai de 2000 até os dias atuais, que consiste na Consolidação dessa energia, envolvendo o desenvolvimento da nova geração de reatores nucleares e avalição das condições de segurança das usinas (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013). Inserido na última fase está o acidente ocorrido no Japão, em março de 2011, que aumentou ainda mais as pesquisas e avaliação da segurança das usi-

[12] Trabalho realizado pela estagiária Mariana Magalhães, em 2013.

nas, evidenciando a importância do aumento de pesquisas nessa área a fim de tornar a energia nuclear mais confiável e atrativa.

Existem algumas barreiras que impedem o desenvolvimento dessa energia, sendo que a maioria está relacionada a segurança das usinas. Outros fatores também cercam a energia nuclear de incertezas como a disposição de rejeitos radioativos, proliferação de armas nucleares e custos de construção e manutenção (JACOMINO, 2013). Devido ao número reduzido de acidentes, existe ainda uma incerteza e imprevisibilidade dos fatores que podem causar um grande acidente nuclear, o que gera insegurança para investimentos e por parte da população em geral.

12.2 Conceito

A energia nuclear é aquela que pode ser obtida através da fissão ou fusão nuclear devido a propriedade de alguns elementos naturalmente, ou através de reações químicas, transformarem massa em energia (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2013), essa teoria foi proposta inicialmente por Albert Einstein, em 1905, e é denominada Teoria da Relatividade ($E= m.c^2$) (MASSA E ENERGIA, 2013). A energia nuclear também pode ser definida como aquela que mantém os nêutrons e prótons juntos no núcleo do átomo. Descobriu-se que a partir do impacto de um nêutron seria possível a divisão do átomo, que assim liberaria energia na forma de calor. Esse processo é denominado fissão nuclear e deve ser controlado, uma vez que essa reação se dá em cadeia, além disso, o resultado desse processo é radioativo. Para controlar essa reação é preciso eliminar os nêutrons com alguns elementos químicos que os absorvem, como o ácido bórico e o cádmio (CARDOSO, 2013).

Para a obtenção de energia nuclear, pode-se utilizar também um processo oposto a fissão, que é denominado fusão. Esse processo é o mesmo que ocorre no sol e é responsável por 90% da energia na Terra. A fusão consiste na união de dois ou mais núcleos para a formação de um núcleo maior e mais estável (FOGAÇA, 2013). A liberação de energia através da fusão ocorre, pois a energia de ligação dos núcleos iniciais é menor que a energia de ligação do núcleo final, o que ocorre através da redução de massa dos reagentes (UFSM, 2013). A energia gerada é maior do que aquela proporcionada pela fissão, devido a quantidade de massa que é transformada em energia. Para que a fusão ocorra, são necessárias temperaturas e pressões elevadas, a produção de energia resultante é muito maior do que aquela obtida através da fissão. Porém, a fusão ainda não é utilizada para o aproveitamento como energia, pois ainda não foram desenvolvidas formas de controlá-la (GESEL, 2011).

Para a produção de energia nuclear, existem somente três tipos de núcleos que possuem estabilidade suficiente para serem armazenados durante um longo período de tempo e que sofrem fissão por nêutrons de todas as energias, são o U-235, U-233 e PU-239. Existem também outros núcleos que poderiam ser utilizados, porém são muito radioativos, aumentando riscos à população em caso de vazamentos, além de não oferecerem valor prático. A logística de obtenção do combustível nuclear vai desde a exploração e acesso as reservas, processamento de refino dos materiais, fabricação dos elementos combustíveis, utilização dos combustíveis até o tratamento e descarte dos rejeitos (PRÄS, 2007).

Em relação a segurança das usinas, também é preciso considerar o lixo radioativo que é gerado tanto durante o funcionamento da usina nuclear, como no seu fechamento, quando todos os equipamentos se tornam peças radioativas e precisam ser armazenados de maneira correta. Os rejeitos nucleares são divididos em alta, média e baixa intensidade (PALANDI, 2010).

Os rejeitos de alta intensidade são aqueles oriundos da fissão, que ocorre dentro do reator nuclear, esses rejeitos são normalmente armazenados em piscinas localizadas na própria usina, devido ao fato de gerarem grande quantidade de calor e precisarem ser resfriados. Esses rejeitos possuem meia vida de até milhares de anos, o que aumenta as discussões em relação à sua forma de armazenamento (DAU, 2009). Depois de resfriado o combustível deve:

> ser reprocessado ou ser preparado para a armazenagem intermediária (de curta, média ou longa duração) ou definitiva. Nesse caso, o material é acondicionado em cápsulas metálicas, soldadas e lacradas, que são colocadas em repositórios subterrâneos de grande profundidade, lo-

> calizados em áreas com condições geológicas naturais milenarmente estáveis (baixa probabilidade de abalo sísmico), baixo índice pluviométrico e pouca densidade populacional. Os terrenos preferenciais são formações rochosas, que funcionam como uma blindagem que evita a corrosão dos recipientes onde os rejeitos são acondicionados (DAU, 2009).

Já os rejeitos de baixa e média intensidade, consistem em materiais utilizados na própria usina, como: equipamentos, roupas, luvas, botas, entre outros. Esses rejeitos são normalmente armazenados em galpões de concreto, construídos dentro de formações rochosas (BORGES, 2013).

O combustível mais utilizado atualmente para a produção de energia a parir da fissão é o Urânio, que é encontrado na natureza com a proporção de 0,7% de U235. Para sua utilização como combustível nuclear, é desejado que essa proporção fosse de 3,2% e por isso ele precisa passar pelo processo de enriquecimento, para aumentar a proporção do U-235 em relação ao U-238, isto porque o U-238 só sofre fissão com nêutrons com elevada energia cinética, o que não ocorre com o U-235. O processo de enriquecimento do urânio pode ocorrer por difusão gasosa ou jato centrífugo. Nas bombas atômicas a proporção de U-235 em relação ao U-238 deve estar acima de 90% e por isso não justifica a preocupação de usinas nucleares se tornarem bombas atômicas (CARDOSO, 2013).

Para a obtenção do U-233, o combustível utilizado é o Tório (Th-232). Esse elemento pode ser encontrado na natureza, inclusive em reservas maiores que o Urânio e não entra em reação em cadeia no seu estado natural. Para se converter no isótopo U-233 precisa ser submetido a um intenso fluxo de elétrons num reator. (PRÄS, 2007). O PU-239 também precisa ser obtido artificialmente, pelo bombardeamento de nêutrons no núcleo de U-238, que sofre um decaimento beta e se converte em Np-239, seguido de um novo decaimento beta, para então se converter no PU-239, essas reações acontecem em reatores nucleares (HEWITT, 2002). A reação que explicita a produção de PU-239 é mostrada na figura 12.1 abaixo:

Figura 12.1 – Obtenção de Pu-239

$$^{238}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{239}_{92}\mathrm{U} \xrightarrow[23.5\ \mathrm{min}]{\beta^-} {}^{239}_{93}\mathrm{Np} \xrightarrow[2.3565\ \mathrm{d}]{\beta^-} {}^{239}_{94}\mathrm{Pu}$$

Fonte: PLUTONIO, 2013.

Os reatores nucleares funcionam como centrais térmicas e possuem como vantagem a enorme quantidade de energia que pode ser gerada, baixo impacto ambiental – quando comparado com usinas térmicas que utilizam combustíveis fósseis, e como empecilho o investimento inicial para implantação, problemas inerentes a segurança dos reatores e questões associadas com o descomissionamento e destinação dos resíduos desta cadeia industrial (ANEEL, 2013). Em todo o cenário de energia, não é possível identificar um tipo de energia que não cause impactos ambientais, como é possível observar abaixo na Tabela 12.1. A energia nuclear é considerada uma das fontes que garante mais segurança de fornecimento de energia com o menor impacto ambiental, ocupando uma pequena área e utilizando um combustível potente, com o preço competitivo. O principal entrave está relacionado a possíveis acidentes, que podem atingir proporções que não são capazes de serem previstas (CALIAN, 2013).

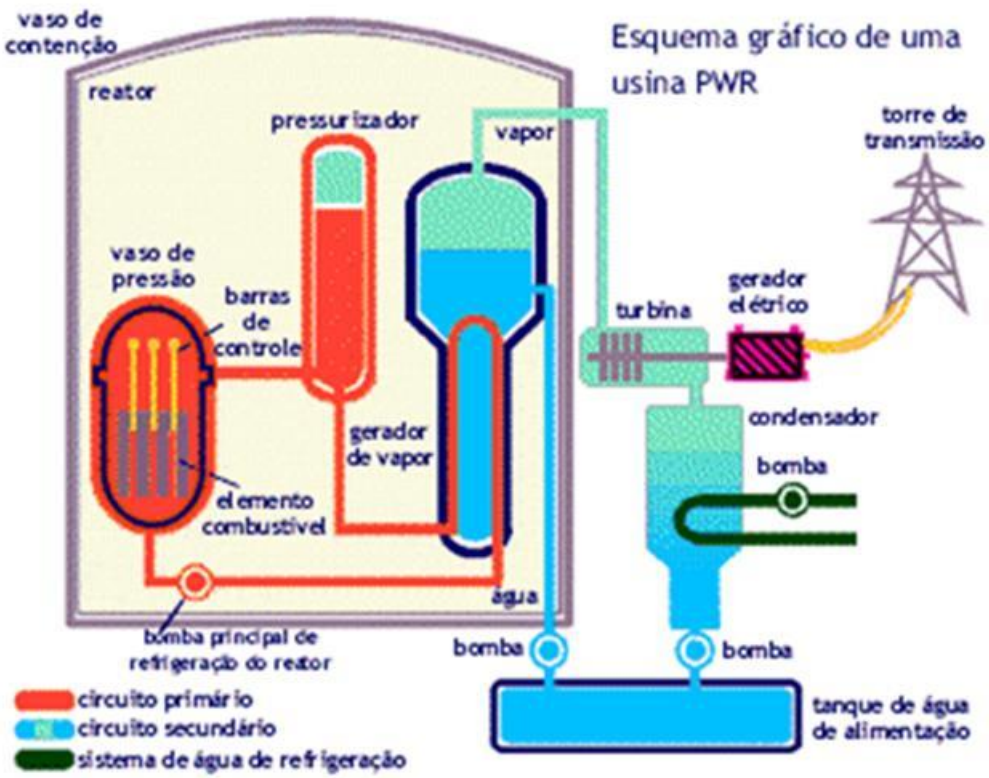
Tabela 12.1- Impactos Ambientais de Fontes Energéticas

FONTES DE ENERGIA	IMPACTOS SÓCIO-AMBIENTAIS
	Emissão de Gases de Efeito Estufa
	Emissão de Material Particulado
TÉRMICA	Emissão de NOx
(Utilizando combustível de origem fóssil)	Emissão de SOx
HIDRELÉTRICA	Alagamento para Construção de Barragens
	Alteração de Regimes de Rios a Jusante
	Assoreamento a Montante da Barragem
	Barreiras à Migração de Peixes
	Proliferação de Algas
	Perda de Patrimônio Histórico, Arqueológico e Turístico
	Remoção de Populações Locais
EÓLICA	Poluição Sonora
	Poluição Atmosférica
	Mortandade de Peixes
	Contaminação de Aquíferos Freáticos
SOLAR	Acúmulo de Resíduos Tóxicos no Ambiente
NUCLEAR	Risco de Acidentes
	Incertezas no Gerenciamento de Rejeitos

Fonte: GOLDEMBERG, LUCON, 2007 – adaptado.

A figura 12.2 representa uma ilustração do processo de obtenção de energia elétrica em uma usina nuclear utilizando reatores PWR (*Pressurized Water Reactor*), mesmo tipo de reator usado em Angra 1 e Angra 2, já em funcionamento no Brasil.

Figura 12.2 – Funcionamento do Reator de Água Pressurizada (PWR)



Fonte: CARDOSO (2013).

Inicialmente, as usinas nucleares tiveram sua vida útil estimada em 40 anos, porém têm sido feito esforços para aumentar essa estimativa, a partir da substituição de alguns equipamentos. Em relação a outros tipos de usinas térmicas, as termelétricas movidas a carvão possuem vida útil entre 40 e 50 anos, enquanto aquelas movidas a gás ou a óleo tem sua vida útil estimada em 40 anos (GESEL, 2011). A Tabela 12.2 representa a idade média do parque nuclear mundial, separada por países. Observa-se que, a maioria dos países possuem usinas com mais da metade da sua vida útil no ano de 2010.

Tabela 12.2 – Idade Média do Parque Nuclear Mundial em 2010

País	Capacidade Instalada (em MW)	Idade das Usinas (em anos)
AFRICA DO SUL	1.880	26
ALEMANHA	21.507	28
ARGENTINA	1.005	30
ARMÊNIA	408	31
BÉLGICA	6.192	29
BRASIL	2.007	15
BULGÁRIA	2.000	19
CANADÁ	13.425	26
CHINA	8.958	9
CORÉIA DO SUL	18.453	17
ESLOVÁQUIA	1.896	18
ESLOVÊNIA	730	28
ESPANHA	7.801	26
EUA	106.291	30
FINLÂNDIA	2.800	31
FRANÇA	66.022	24
HOLANDA	515	37
HUNGRIA	2.000	25
INDIA	4.340	15
JAPÃO	48.847	23
MÉXICO	1.364	18
PAQUISTÃO	462	12
REINO UNIDO	11.902	26
REPÚBLICA CHECA	3.892	16
ROMÊNIA	1.412	9
RÚSSIA	23.242	26
SUÉCIA	9.761	30
SUÍÇA	3.405	32
TAIWAN (CHINA)	5.190	28
UCRÂNIA	13.835	20

Fonte: IAEA, 2010.

Para a seleção de locais para implantação de centrais nucleares, é necessário avaliar aspectos ambientais, bióticos e socioeconômicos. Tais aspectos incluem: suprimento de água de refrigeração, áreas de preservação ambiental, movimentos vibratórios do solo, acessibilidade do local, linhas de transmissão existente (GUIMARÃES, 2010), migração de população, disposição de rejeitos radioativos, ocupação desordenada do solo devido a migração de trabalhadores, intensificação de tráfego de veículos, entre outros menos relevantes (SILVA E. B, 2013).

12.3 Acidentes Nucleares

Os acidentes nucleares constituem hoje a maior preocupação de pesquisadores em relação à exploração da energia nuclear. Desde os primórdios da exploração dessa energia a preocupação com a segurança sempre esteve presente devido à produção de material radioativo e possibilidade de contaminação de milhares de pessoas em caso

de acidente. A cada ano e a cada novo acidente, são aprendidas lições que culminam em operações de manutenção e otimização nas usinas já existentes e produção de reatores e barreiras que diminuam os riscos de contaminação. (CARDOSO, 2013)

Serão abordados os três principais acidentes nucleares que ocorreram até o ano de 2013, suas consequências e as medidas de segurança que foram tomadas e influenciaram no aproveitamento dessa energia até os dias atuais.

12.3.1 Three Miles Islands

No dia 28 de março de 1979, na cidade de Harrisburg/Pensilvânia, ocorreu o 1° acidente mais grave em uma usina nuclear. Um problema na bomba de água do sistema de resfriamento da usina levou o sistema de emergência a entrar em operação, mas uma falha do circuito secundário ocasionou o aumento da temperatura do reator. Para tentar resolver o problema grandes quantidades de água fria foram injetadas no circuito primário de refrigeração tentando diminuir a temperatura, mas essa água acabou fervendo, formando bolhas de vapor. Peritos foram reunidos para tentar resfriar os elementos combustíveis e controlar o reator até desligá-lo. O núcleo do reator acabou 75% derretido, ocasionando vazamento de radiação para a atmosfera (HANK, 1979).

O maior problema em relação a esse acidente se deu no despreparo tanto do governo, quanto da empresa frente às complicações que se sucederam. O acidente mostrou a possibilidade de falha em uma usina nuclear, que não tinha sido observada até então. A crise foi mal gerenciada e as informações chegaram de maneira otimista e minimizada à população, as informações corretas demoraram muito a chegar e, se os níveis de radiação emitidos fossem maiores, poderiam causar graves consequências (FORNI, 2013).

Estima-se que vazou radioatividade até 16 km da usina e que aproximadamente 140 mil pessoas acabaram contaminadas pela mesma (SANTOS, 2013). O acidente de Three Miles Islands não causou mortes e no ano seguinte ao ocorrido deu início, a retirada do material radioativo que terminou no ano de 1983 (MARTON, 2013).

Após o acidente, o programa atômico dos estados Unidos foi congelado por aproximadamente 30 anos o que trouxe consequências para todo o mundo. O acidente fomentou a discussão a respeito das consequências da exploração da energia nuclear e da fragilidade dos sistemas de segurança, além da problemática em relação a funcionários despreparados (MARTON, 2013).

O acidente resultou na criação de novas regras para a indústria nuclear e no declínio da construção de novos reatores, que estava acelerada na década de 1970 (PATRIOTA, 2011).

12.3.2 Chernobyl

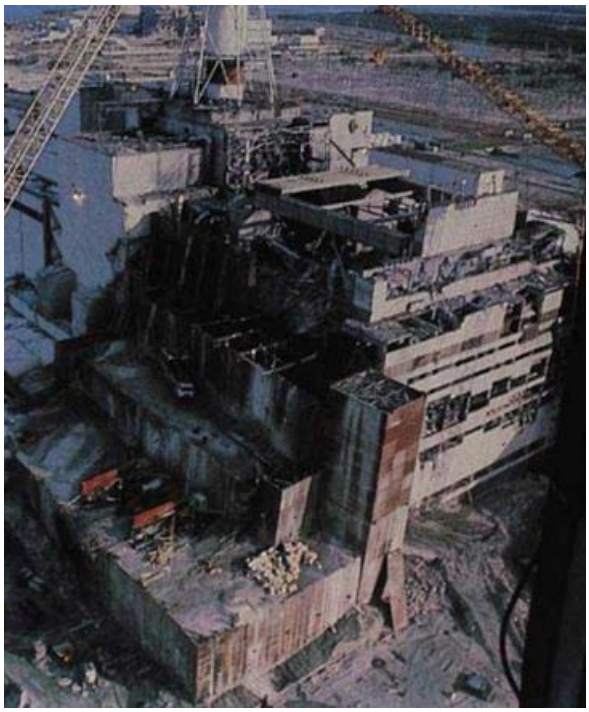
No dia 26 de Abril de 1986, em Chernobyl na Ucrânia, aconteceu o maior acidente nuclear da história mundial. Neste dia, o reator 4 (FIGURA 12.3) da usina estava parado para manutenção e para teste de mecanismos de emergência. Como estavam realizando testes, o reator operava em potência baixa, o que não pode acontecer por muito tempo. Mesmo após alarmes dispararem, os mesmos foram desativados e o reator não foi imediatamente desligado (TEIXEIRA, 2013). Consequentemente, o sistema de resfriamento primário de água foi interrompido, provocando uma reação em cadeia não controlada e atingindo temperaturas elevadíssimas, a água que ainda passava pelos tubos foi imediatamente transformada em vapor, as barras de grafite utilizadas para controle da fissão, entraram em combustão instantânea, o que provocou uma explosão (FOGAÇA, 2013).

Devido a explosão, lembrando que não foi uma explosão nuclear (como a de uma bomba atômica) e sim uma explosão de vapor radioativo seguido por explosões químicas, foram liberados principalmente césio-137 e iodo-131 e por isso, nos anos seguintes ao acidente o número de pessoas com leucemia e câncer de tireoide aumentou consideravelmente (O ACIDENTE DE CHERNOBYL, 2013).

Em relação aos motivos que causaram o acidente, pode-se agregar falhas humanas à falhas de equipamentos que, juntos causaram o acidente catastrófico. A usina não havia sido projetada para suportar esse tipo de impacto e

por isso a tampa de concreto e o teto ficaram destruídos, liberando uma nuvem radioativa que atingiu toda a União Soviética, Europa Oriental, Reino Unido e Escandinávia (CABRAL, 2013).

Figura 12.3 – Reator 4 de Chernobyl



Fonte: TEIXERA, 2013.

O reator que explodiu foi coberto por um "caixão de cimento" e os outros reatores da usina continuaram em operação. Estima-se que até o ano de 2065 a Usina de Chernobyl esteja completamente desativada, sendo que os trabalhos para finalizar a operação começarão após o ano de 2013. Em 2022 estão programados o fechamento final e conservação dos equipamentos contaminados e das instalações do reator. Em 2045 os níveis de radiação cairão para valores normais. A remoção dos equipamentos e limpeza do território está programada para ocorrer até o ano de 2065 (O ACIDENTE DE CHERNOBYL, 2013).

Ao comparar o acidente de Chernobyl com a bomba atômica de Hiroshima, pode-se observar que foi liberado 400 vezes mais material radioativo. Estima-se que 31 pessoas morreram na hora, 132 ficaram hospitalizadas e 130.000 foram evacuadas, foram multiplicados os casos de má formação genética e casos de câncer após a explosão, o número de mortos é difícil de ser previsto mais existem estimativas de mais de 28.000 mortes. Além disso, a região ficará contaminada durante décadas (FOGAÇA, 2013).

É possível concluir que após o acidente medidas de segurança foram reavaliadas e os erros que ocasionaram o acidente foram identificados, aprimorando o conhecimento das consequências da utilização dessa fonte de energia, e da falta de treinamento e noção de medidas de segurança dos profissionais que trabalham nas usinas (CHEMELLO, 2010).

Por um determinado tempo o investimento em centrais nucleares diminuiu. Porém, com o aumento do preço do petróleo, no início do século XXI e, devido à necessidade de diminuir a emissão de gases de efeito estufa, os investimentos em energia nuclear foram retomados e medidas de segurança foram aprimoradas. (GESEL, 2011)

No Brasil, o acidente de Chernobyl implicou na criação do SIPRON (Sistema de Proteção ao Programa Nuclear). O objetivo foi criar um plano para responder em escala nacional às emergências radiológicas (SANTOS, 2013). O SIPRON persiste até os dias atuais e atualmente encontra-se sub-dividido em diversos centros, como gerenciamento, coordenação e controle, informações e suporte. O setor responsável pelas emergências radiológicas é o DIEME/IRD que possui como missão:

> Coordenar no âmbito da CNEN a preparação (que engloba planejamento, infra-estrutura logística e de recursos humanos, cursos, treinamento e exercícios) e o atendimento a situações de emergência de origem radiológica e nuclear no território brasileiro; manter operacional no IRD o ponto de alerta nacional no âmbito da convenção da IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica) sobre pronta notificação em caso de acidente nuclear; manter operacional no IRD o ponto de contato nacional no âmbito da convenção da IAEA sobre assistência em caso de acidente nuclear ou de emergência radiológica; e manter operacional no IRD o centro colaborador da OMS para assistência em radioproteção e preparativos médicos em emergências com radiação (SIPRON, 2013).

12.3.3 Fukushima-Daiichi

Em 11 de março de 2011, o Japão foi atingido por um terremoto de 9 graus na escala Richter, que atingiu uma área altamente povoada e com elevado desenvolvimento industrial. As construções e instalações industriais que possuíam ricos de explosões e liberação de produtos tóxicos entraram imediatamente em colapso, causando muitas mortes e danos ambientais. Todas as usinas nucleares, localizadas na região afetada desligaram-se automaticamente e se colocaram em processo de resfriamento (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2011).

Na usina de Fukushima-Daiichi, ocorreu um blecaute e o sistema de emergência a óleo diesel foi acionado. Devido ao fato do epicentro ter sido no oceano, um Tsunami atingiu a usina e superou a barreira contra ondas gigantes que havia sido previamente instalada e que estava subdimensionada. A enxurrada danificou os geradores e um 2° sistema de segurança foi acionado, formado por baterias, porém as mesmas esgotaram-se em algumas horas. A temperatura dos reatores aumentou consideravelmente, gerando hidrogênio que ao reagir com o oxigênio explodiu e foi seguido por explosões químicas (LORDELO, 2013).

Esse acidente ocasionou perda total dos reatores, com derretimento dos núcleos e liberação da radioatividade para o meio externo. Apesar de ter sido um acidente grave, não houve nenhuma fatalidade e as emissões não atingiram níveis que possam causar danos irreparáveis (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2011). Foi necessário evacuar 465.000 pessoas em um perímetro em torno de 30 km da usina. A resposta do governo japonês ao acidente foi rápida, o que permitiu que as consequências do acidente não fossem mais graves (LEITE, 2013).

Após o acidente as atenções se voltaram para o nível de segurança das usinas nucleares e nos fatores que podem causar um novo acidente. Além disso, foram identificados diversos fatores que poderiam ser evitados e que constituem-se atualmente em lições que devem ser aprendidas e superadas. Como exemplo podemos citar o fato do potencial de eventos externos terem sido subestimados, planta instalada em local sujeito a tsunamis, vulnerabilidade da rede elétrica a terremotos, previsão insuficiente para assegurar o fornecimento de eletricidade para o sistema de refrigeração de emergência e contenção inadequada para impedir a liberação de material radioativo para o ambiente (GONZÁLES, 2013). Todos esses fatores devem ser devidamente analisados e soluções para evitalos devem ser propostas e implantadas em usinas em construção e em operação.

Devido ao acidente, em junho de 2011 o governo japonês determinou que todas as usinas, exceto as seis unidades de Fukushima e duas na central de Hamaoca, estão em estado de segurança para continuar em operação no país. Após o acidente diversas medidas de segurança estão sendo implementadas no país e em outubro/2011 apenas 11 dos 54 reatores do país estavam operando (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2011).

Muitos países, que estavam ampliando sua participação no cenário da energia nuclear, paralisaram suas pesquisas ou diminuíram os investimentos nessa energia. O caso mais radical foi o da Alemanha, que desativou as usinas mais antigas e decidiu desativar as usinas restantes até 2030 (GESEL, 2011). De fato a Alemanha visa au-

mentar em 80% a produção de energia a partir de fontes renováveis e aliado a esse plano, continuar com a produção de energia por fonte nuclear caminharia contra a estratégia do país (CETESB, 2013). Estima-se que os custos de desligamento das usinas da Alemanha cheguem a 40 bilhões de euros, devido à necessidade de investimentos em novas fontes energéticas (BRAZIL ENERGY FRONTIERS, 2013). Após a decisão do fechamento das usinas nucleares, a Alemanha deixou de exportar energia a maior parte do tempo para a França, para tornar-se importadora, exportando energia apenas na temporada mais quente (PRESSE, 2012).

Porém, sabe-se que a dependência do suprimento fóssil é um fator preocupante e por isso o interesse nessa fonte de energia continua alto e continuam sendo realizados testes e pesquisas para aprimorar a segurança das usinas. Em prazo mais longo pretende-se trabalhar com um novo patamar de segurança, com geradores de IV Geração (LEITE, 2013). Fato é, que a perspectivas de curto e médio prazo serão alteradas, incluindo os cenários de planejamento do setor elétrico (GESEL, 2011).

Após o acidente de Fukushima, foram realizadas reuniões, palestras e conferências para discutir sobre o tema segurança nas usinas nucleares. Em dezembro de 2012, o Japão organizou uma Conferência Mundial (Fukushima Ministerial Conference) com o objetivo de contribuir para o reforço da segurança e compartilhar com os países participantes as lições aprendidas com o acidente de Fukushima. A Conferência contou com 3 sessões, a 1ª mostrou as lições aprendidas com Fukushima, a 2ª teve objetivo de reforçar a segurança e preparar e orientar os países para situações de emergência e a última sessão teve o objetivo de trazer informações sobre proteção contra as radiações emitidas (IAEA, 2013).

Assim como as lições aprendidas com outros acidentes nucleares, como Chernobyl e Three Mile Islands, o acidente de Fukushima contribuirá para o aumento da segurança das usinas e velocidade de respostas em caso de acidentes, o que contribui ainda mais para o avanço das pesquisas e desenvolvimento da energia nuclear.

12.3.4 Necessidade de Aprimoramento

Ao analisar os três grandes acidentes nucleares ocorridos até o ano de 2013 é possível relacioná-los a um mesmo fator ocasionador: O sistema de resfriamento.

No caso de Three Miles Islands, um problema técnico nas bombas de refrigeração, aliado a falha humana, ocasionou a formação de bolhas radioativas na parte superior do reator.

No caso de Chernobyl, a negligência dos operadores da usina, ocasionou falha no sistema de resfriamento, que ocasionou o maior acidente nuclear de todos os tempos.

Já em Fukushima, o terremoto seguido de Tsunami, deixou o sistema de resfriamento inoperante, o que ocasionou o derretimento dos núcleos dos reatores.

Dos três acidentes, Chernobyl é indiscutivelmente o mais grave, o único que ocasionou milhares de mortes e o único que poderia ter sido evitado, ou pelo menos minimizado, seguindo medidas básicas de segurança.

No caso de Fukushima e Three Miles Islands, não houve mortes diretamente relacionadas a esses eventos e foi possível um controle rápido da situação, o que não deixou o problema se agravar, mas também foram acidentes graves e que poderiam causar graves consequências para todo o mundo.

Os três graves acidentes anteriormente citados deixaram para o mundo aprendizados e instruções a respeito da necessidade de melhorias no sistema de segurança das usinas, principalmente no que se diz respeito ao sistema de resfriamento, um problema comum aos três acidentes. Enfatizando a importância do desenvolvimento dos reatores, que com sistemas passivos de segurança, minimizariam os problemas causados devido a falha humana.

12.4 Reatores

A usina nuclear possui seu funcionamento semelhante a uma usina térmica, a grande diferença é que no lugar de uma caldeira, existe o reator nuclear. Na caldeira, energia térmica é gerada a partir da combustão, enquanto nos reatores nucleares, energia térmica é gerada a partir da fissão nuclear.

A energia térmica gerada nos reatores pode transformar o fluido diretamente em vapor ou o fluido pode ser mantido pressurizado e chegar a temperaturas próximas de 300°C, ainda em estado líquido (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013). Quando vapor é produzido diretamente pelo reator, este pode passar por um conjunto turbina-gerador (PERROTA, 2013). Já na situação em que o fluido é mantido pressurizado, normalmente o mesmo passa por um trocador de calor que aquece um circuito secundário e só então o vapor produzido passa pelo conjunto turbina-gerador (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013). Após a passagem pela turbina, o vapor passa por um processo de resfriamento e o fluido retorna ao estágio inicial. O sistema de bombeamento dos fluidos utiliza energia externa para o seu funcionamento (ENTENDA COMO FUNCIONA UMA USINA NUCLEAR, 2013).

Os reatores nucleares são compostos principalmente pelos seguintes elementos: combustível, fluido refrigerante, barras de controle e segurança, refletor e moderador (NUCLEAR POWER REACTORS, 2013). O Combustível comumente utilizado é o Urânio em uma proporção de 3,2% de U-235 em relação ao U-238. (CARDOSO, 2011) Como fluido refrigerante, os elementos utilizados são usualmente: água, hélio, vapor d'água e metais líquidos. Normalmente, a escolha por determinado tipo de fluido é o que determina a nomenclatura do reator. Os mecanismos de controle são utilizados para controlar a reação em cadeia, evitando que essa tome proporções catastróficas, e em operações de parada do reator, o objetivo desse mecanismo é absorver nêutrons. (COMO FUNCIONAM OS REATORES NUCLEARES, 2013).

O sistema de blindagem, composto normalmente por refletores, corresponde aos elementos utilizados para proteção dos seres humanos contra os nêutrons e raios gama, provenientes da fissão nuclear para minimizar a fuga de nêutrons do reator, eles são refletidos novamente para o núcleo. Os materiais comumente utilizados são água, água pesada, grafite e Berílio (PRÄS, 2007). Já o Moderador é utilizado para diminuir a velocidade dos nêutrons. Os materiais utilizados para essa operação são normalmente água, grafite e Berílio (COMO FUNCIONAM OS REATORES NUCLEARES, 2013).

Até maio de 2013 existiam 435 reatores em operação, sendo que os mais utilizados mundialmente são os do tipo PWR, (*pressurized water reactor* - reator a água leve pressurizada) que correspondem a 65% dos reatores em operação e o reator BWR, (*boiled water reactor* - reator à água fervente) que corresponde a 19% dos reatores em operação. A tabela 12.3 abaixo exibe os tipos de reatores mais utilizados (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013).

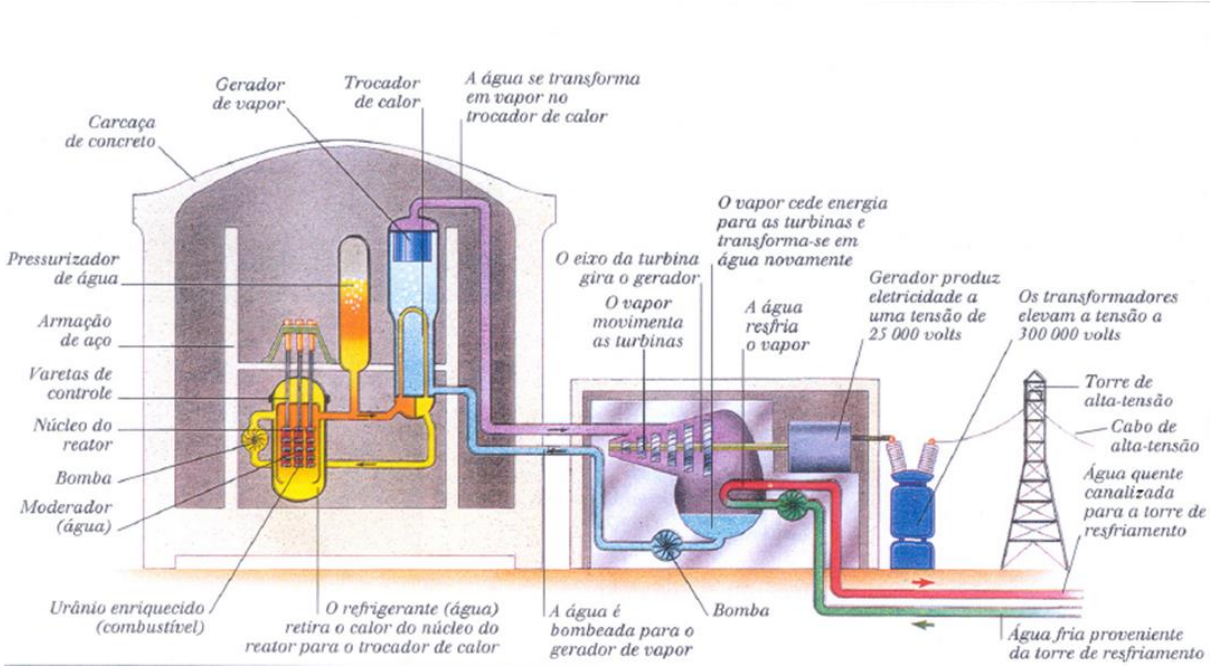
Tabela 12.3 – Reatores mais utilizados até 2013

TIPO DE REATOR	PRINCIPAIS PAÍSES	NÚMERO	POTÊNCIA (MWE)	COMBUSTÍVEL	REFRIGERANTE	MODERADOR
Reator a Água Pressurizada (PWR)	Estados Unidos, França, Japão, Rússia e China.	272	270.400	Dióxido de urânio enriquecido	Água	Água
Reator a Água Fervente (BWR)	Estados Unidos, Japão e Suécia	84	81.200	Dióxido de urânio enriquecido	Água	Água
Reator a Água Pesada (PHWR)	Canadá	48	27.100	Dióxido de urânio natural	Água pesada	Água pesada
Reator Refrigerado a Gás (AGR e MAGNOX)	Reino unido	16	9.600	Urânio natural Urânio enriquecido	CO2	Grafite

Fonte: FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013 – adaptado.

O reator PWR, mais utilizado atualmente em todo o mundo, inicialmente foi desenvolvido nos Estados Unidos para a propulsão de submarinos e posteriormente foi adaptado para a produção de energia elétrica (SILVA, 2010). O elemento combustível é utilizado na forma de pastilhas e como fluido refrigerador é utilizado a água. Para manter a água em estado líquido, ela é mantida a uma pressão de 150 atm, em temperaturas em torno de 300°C (GALLAS, 2013). Esse tipo de reator utiliza dois circuitos de água, para evitar que a água radioativa (circuito primário) entre em contato com a água que vai passar pela turbina (circuito secundário). Dentro do gerador de vapor, a água do circuito primário é utilizada para pré-aquecer a água do circuito secundário. Esse tipo de reator é considerado mais seguro, pois as chances de vazamento de fluido radioativo diminuem quando são utilizados dois sistemas de circulação e somente no primeiro o fluido é radioativo A Figura 12.4, explica o funcionamento de uma usina nuclear que utiliza reator PWR (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013).

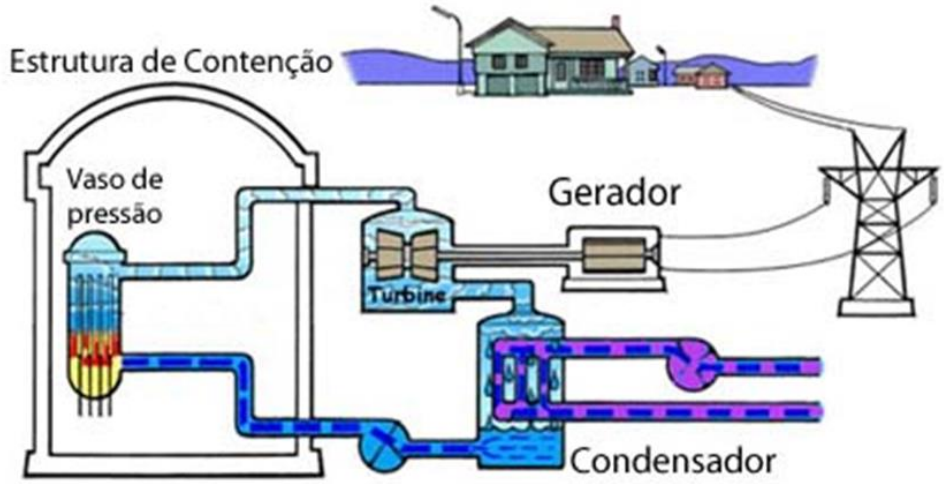
Figura 12.4 – Funcionamento do Reator PWR



Fonte: IPEN.

O reator do tipo BWR (*Boilling Water Reactor*), também utiliza água comum como fluido refrigerante. A temperatura do fluido refrigerante é mantida de maneira que ferva quando recebe calor do reator. O vapor produzido passa então, diretamente, pelo conjunto turbina-gerador, produzindo eletricidade. Esse sistema possui como desvantagem o fato de que, em caso de acidente, potencializa o risco de vazamento de radioatividade para o meio ambiente (PERROTA, 2013). A Figura 12.5 mostra o funcionamento de uma usina nuclear utilizando-se reator do tipo BWR.

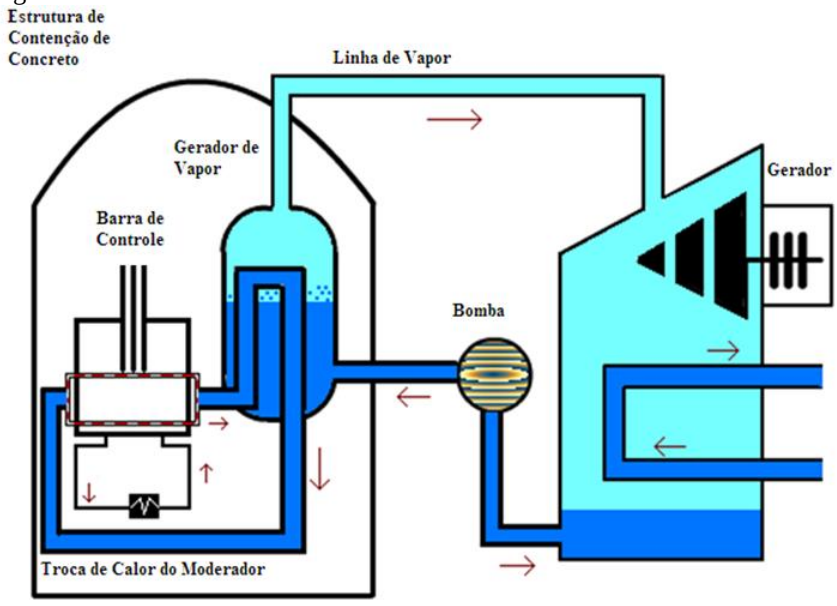
Figura 12.5 – Reator BWR



Fonte: ROTHMAN, 2013.

O reator PHWR (*Pressurized Heavy Water Reator*), também conhecido como CANDU (*Canada Deuterium Uranium*), utiliza água pesada como refrigerante e moderador. Essa água é formada com o isótopo deutério mais pesado do hidrogênio (D2O) e permite que o Urânio seja utilizado em sua forma natural, não necessitando ser enriquecido. Porém é preciso separar a água pesada da água comum, de forma que a água pesada corresponda a 99% da proporção. Esse sistema também utiliza dois circuitos de água e o restante do funcionamento é parecido com o do PWR. (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013).

Figura 12.6 – Reator PHWR



Fonte: NUCLEAR REACTORS, 2013.

A respeito do reator GCR (*Gas Cooled Reactor*), é possível observar que existem dois tipos, o Magnox, e o reator avançado refrigerado a gás (AGR). O sistema de refrigeração de ambos é movido a CO_2 e o moderador utilizado é o grafite. No caso do Magnox, o combustível utilizado é o Urânio natural, e no AGR, o combustível utilizado é o urânio enriquecido. Esses dois tipos de reatores podem ser reabastecidos durante a operação, são simples e baratos de construir (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013).

12.4.1 Avanços Tecnológicos

O primeiro reator nuclear foi construído em 1942, na Universidade de Chicago, por Enrico Fermi, obtendo então a reação de fissão em cadeia, após esse fato os reatores nucleares passaram por alguns estágios de evolução. A procura por reatores nucleares mais seguros e que otimizem a produção de energia perdura até os dias atuais e por isso vêm sendo desenvolvidos e pesquisados diversos modelos de reatores por todo o mundo (AVANÇO DA TECNOLOGIA NUCLEAR, 2013).

A Primeira Geração de reatores correspondeu aos primeiros protótipos, entre os anos de 1950 e 1960. Ainda no ano de 1955 instituiu-se o Programa de Demonstração de Potência, com o objetivo de incentivar o investimento e mostrar a viabilidade dos reatores nucleares. Esta geração de reatores é caracterizada pela necessidade de aquisição de informação e experiência em reatores nucleares e, inicialmente foi impulsionada pela Segunda Guerra Mundial, com a necessidade de aumentar o conhecimento em armas nucleares (MONGELLI, 2006). Os primeiros países que começaram a desenvolver programas nucleares para a produção de energia elétrica foram: Estados Unidos, União Soviética, França e Alemanha (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013).

Os reatores de 2ª Geração correspondem aos que foram construídos entre os anos de 1970 e 1980 e inicialmente foram projetados para uso naval. Devido aos acidentes nucleares de Chernobyl e Three Miles Island, principalmente, a indústria nuclear passou por uma fase com pouco investimento e, portanto, não obteve desenvolvimento significativo. Por isso, esses reatores passaram a ser utilizados em usinas nucleares e essa situação perdurou por longos anos. O desenvolvimento de reatores nucleares mais eficientes e seguros foi sendo aos poucos deixado de lado (CARVALHO, 2004).

Os reatores de 2ª geração vêm aos poucos sendo substituídos por reatores mais desenvolvidos, denominados de 3ª geração. A 3ª Geração de reatores nucleares inclui os geradores da 2ª geração, porém com medidas avançadas de desempenho operacional e segurança, que garantem as funções de desligamento e refrigeração dos combustíveis (BRAZIL ENERGY FRONTIERS, 2013). As características principais dos reatores dessa geração são: padronização do projeto para cada tipo de reator (com a finalidade de agilizar o licenciamento), desenho e projeto simplificados para uma operação mais fácil e diminuição do risco de falhas, aumento da vida útil para 60 anos, diminuição da possibilidade de fusão do núcleo e aumento da taxa de queimas para minimizar a quantidade de rejeitos gerados (MONGELLI, 2006).

Existem também os reatores conhecidos como Geração 3+, que correspondem a reatores com sistemas de segurança passivos que funcionarão automaticamente, independente da ação do operador, diminuindo a possibilidade de acidentes causados devido à falha humana, uma vez que o equipamento será automaticamente desligados, quando necessário (BRAZIL ENERGY FRONTIERS, 2013). Atualmente esses reatores estão ainda nas fases de certificação, projeto e implantação (MONGELLI, 2006). Esse tipo de reator poderia ter evitado os três grandes acidentes nucleares que ocorreram até os dias de hoje, visto que nas três situações o problema esteve totalmente ou parcialmente relacionado a falha humana. Por esse motivo, os reatores dessa geração surgem no mercado para superar as questões de segurança. A previsão é para que entrem em funcionamento entre os anos de 2015 e 2025 (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013). Em escala de produção mundial, os reatores mais avançados que estarão disponíveis mais rapidamente, pertencem a Geração 3+, sendo eles:

- Reator AP1000 (Advanced Passive 1000) – Esse reator, produzido pela Westing house, possuirá potência para produzir 1154 MWe. É um reator do tipo PWR e atualmente, em 2013, encontra-se em fase avançada de construção. A proposta é de melhoria da segurança e simplicidade de operação, o que reduziria os custos de construção (GAGLIANO, 2013).

- Reator Atmea1 – Esse reator, também utiliza seu sistema de refrigeração com água pressurizada e esta sendo desenvolvido pela Mitsubishi Heavy Industries e Areva, com potência de 1100 MWe -1150 MWe. A vida útil estimada para esse reator é de 60 anos. Possui clara separação entre os seus sistemas operacionais, de segurança e três sistemas de alimentação de emergência (AREVA, 2013).

- Reator EPR – Com potência de 1650 MW, esse reator também utiliza água pressurizada em seu sistema de refrigeração. Está em fase de construção pela Areva. Estão em construção unidades na Finlândia, França e China(FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013). Esse tipo de reator irá possuir 4 geradores a diesel para casos de emergência e mais dois geradores como última alternativa (AREVA, 2013).

- Reator EPR ABWR (Advanced Boilling Water Reactor)- Com potência de 1350 MW, utiliza água no sistema de refrigeração. O Projeto básico foi desenvolvido pela GE, Toshiba e Hitachi, atualmente existem 4 unidades em operação no Japão (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013).

Todos os reatores acima citados possuem resistência a perigos externos e internos, incluindo terremotos, acidentes de avião e enchentes. O que demonstra que os acidentes e situações vividas no passado, serviram como inspiração para a construção de reatores mais seguros.

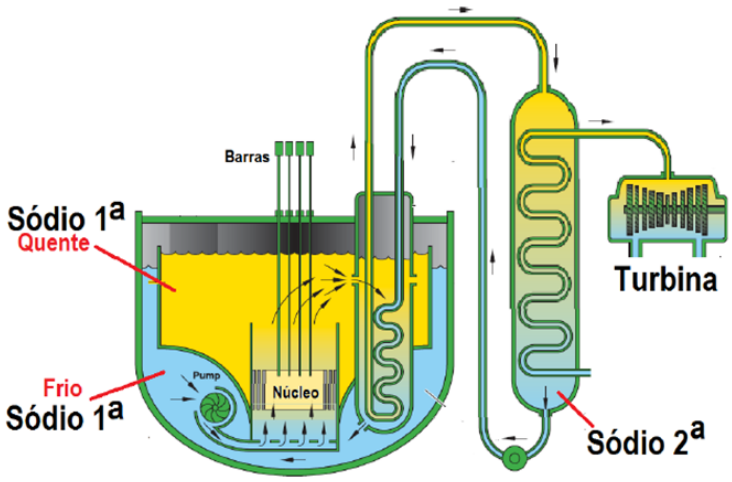
A evolução dos reatores nucleares persiste até os dias atuais. No ano de 2000, foi criada uma cooperação para desenvolver uma nova geração de reatores, que ficou conhecida como Fórum Internacional da IVa Geração. Os países que participaram do Fórum foram: África do Sul, Argentina, Brasil, Canadá, Coréia do Sul, Estados Unidos, França, Japão, Reino Unido e Suíça. Foram lançados no Fórum alguns objetivos, sendo os mais relevantes: melhorar a segurança dos reatores, melhorar a resistência à proliferação, diminuir a produção de lixo nuclear e diminuir os custos de operação e construção, construindo então reatores que trabalhem dentro de três princípios: segurança, economia e sustentabilidade. Esses reatores serão os da Geração IV e tem previsão para entrar em funcionamento em escala comercial após 2030 (CURY, 2013).

Os reatores da Geração IV introduzirão ruptura tecnológica, possibilidade de instalações em locais de difícil acesso, diminuição do desperdício e aumento da eficácia (ELETRONUCLEAR ABDAN, 2006). Além disso, a proposta é que esses reatores trabalhem fazendo a reciclagem do combustível, ou seja, os metais gerados pelo consumo do combustível seriam reintroduzidos no reator, o que exigirá elevadas temperaturas de trabalho (FREUDENRICH, 2013).

Outra proposta dos reatores de Geração IV é de cogeração de hidrogênio, de maneira a produzir hidrogênio de forma limpa, sem emissão de gases de efeito estufa (FREUDENRICH, 2013). Além disso, a utilização desses reatores também diminuirá custos de construção, uma vez que esses reatores não precisariam de abastecimento externo, ou seja, ligação em eletricidade ou instalação de geradores, como ocorre atualmente (ELETRONUCLEAR ABDAN, 2006). Entre todos objetivos, o principal foco é de aumentar consideravelmente os níveis de segurança dos reatores, proporcionando segurança tanto para os operadores, como para a população local que vive perto das usinas. Existem 6 tipos de reatores que foram selecionados como aptos para a Geração IV, que estão sendo estudados e projetados (FREUDENRICH, 2013). Todos os protótipos vão operar em temperatura superior à dos reatores atuais (entre 500°C e 1000°C, atualmente a temperatura empregada gira em torno de 330°C) e com ciclo fechado de combustível para minimizar a produção de rejeitos de alta intensidade radiológica, são eles: (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2013).

- **SFR** (*Sodium-Cooled Fast Reactor*): Esse reator rápido é arrefecido com sódio líquido, permitindo alta densidade de potência com baixo volume de refrigerante. Utiliza urânio natural como combustível. A temperatura de resfriamento irá variar entre 500°C e 550°C e a geração de eletricidade ocorrerá através de um circuito secundário de sódio (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2013).

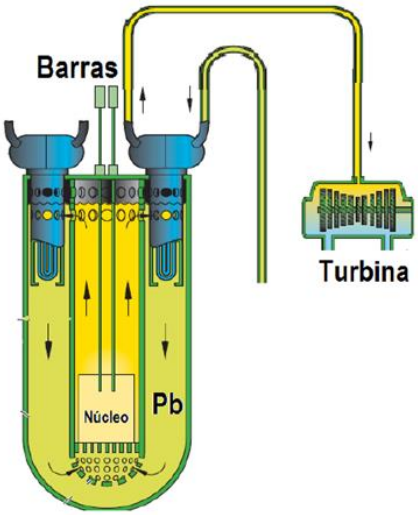
Figura 12.7 – Reator SFR



Fonte: CARDOSO, 2013.

- **LFR** (*Lead-Cooled Fast Reactor*): O reator rápido refrigerado a chumbo utilizará o metal líquido a baixa pressão e o resfriamento ocorrerá por convecção natural. A temperatura de trabalho irá variar entre 550°C para os reatores que serão implantados em 2025 e poderá chegar a 800°C nos reatores que possuem previsão de implantação em 2035, pois prevê-se a utilização de materiais que possuam resistência à corrosão (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2013).

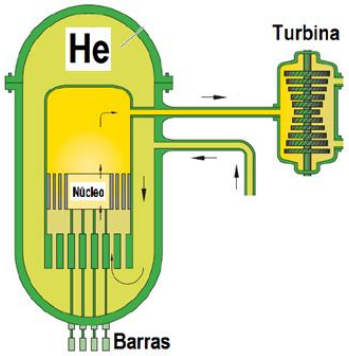
Figura 12.8 – Reator rápido refrigerado a chumbo



Fonte: CARDOSO, 2013.

- **GFR** (*Gas-Cooled Fast Reactor*): Os reatores rápidos refrigerados a gás trabalharão com temperaturas próximas de 850°C e serão adequados para a produção de hidrogênio. O gás utilizado é o hélio, que será conduzido diretamente para uma turbina a gás, utilizando o ciclo Brayton. O combustível utilizado pode ser tanto o urânio natural, como qualquer outro físsil com teor de plutônio de 15 a 20%. O protótipo não é esperado antes de 2025, devido ao fato de não existir nenhum projeto antecedente (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2013).

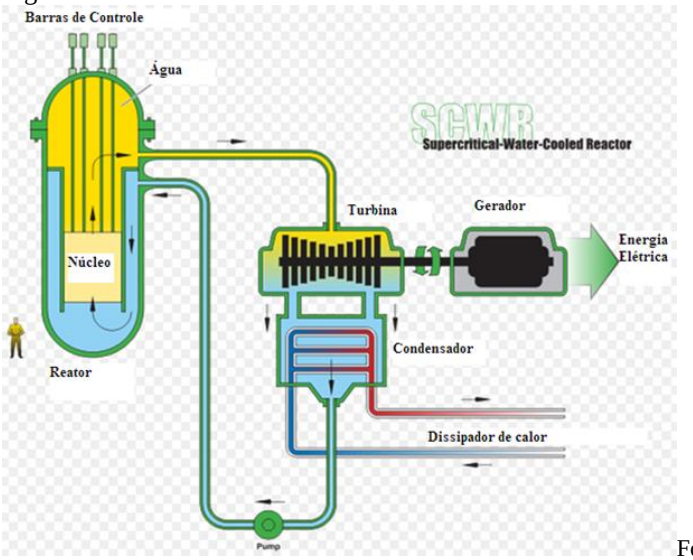
Figura 12.9: Reator Rápido Refrigerado a Gás



Fonte: CARDOSO, 2013.

- **SCWR** (*Supercritical-Water-Cooled-Reactor*): Esse reator é arrefecido a água a alta pressão (22 mpa) e temperatura de 374°C. O vapor superaquecido aciona diretamente uma turbina, de modo que não existe circuito secundário. O combustível utilizado é o óxido de urânio enriquecido. Existe a opção de construção com reciclagem de combustível (PCTN, 2013).

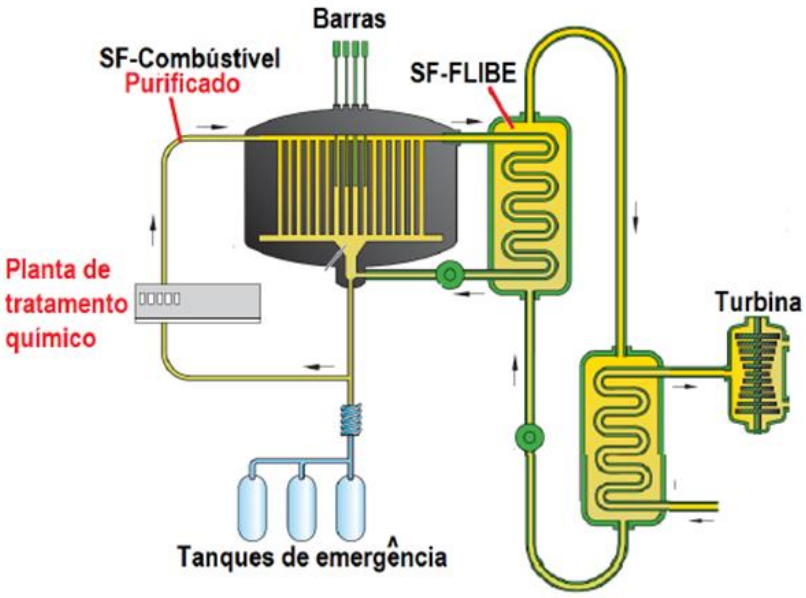
Figura 12.10: Reator SCWR



Fonte: WIKIMEDIA, 2013.

- **MSR** (*Molten Salt Reactor*): Nesse reator o fluoreto de sódio circula através dos canais do núcleo para fazer o arrefecimento. Os produtos da fissão são removidos continuamente e são totalmente reciclados. Um sistema de refrigeração secundário é usado para a produção de eletricidade e produção de hidrogênio (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2013).

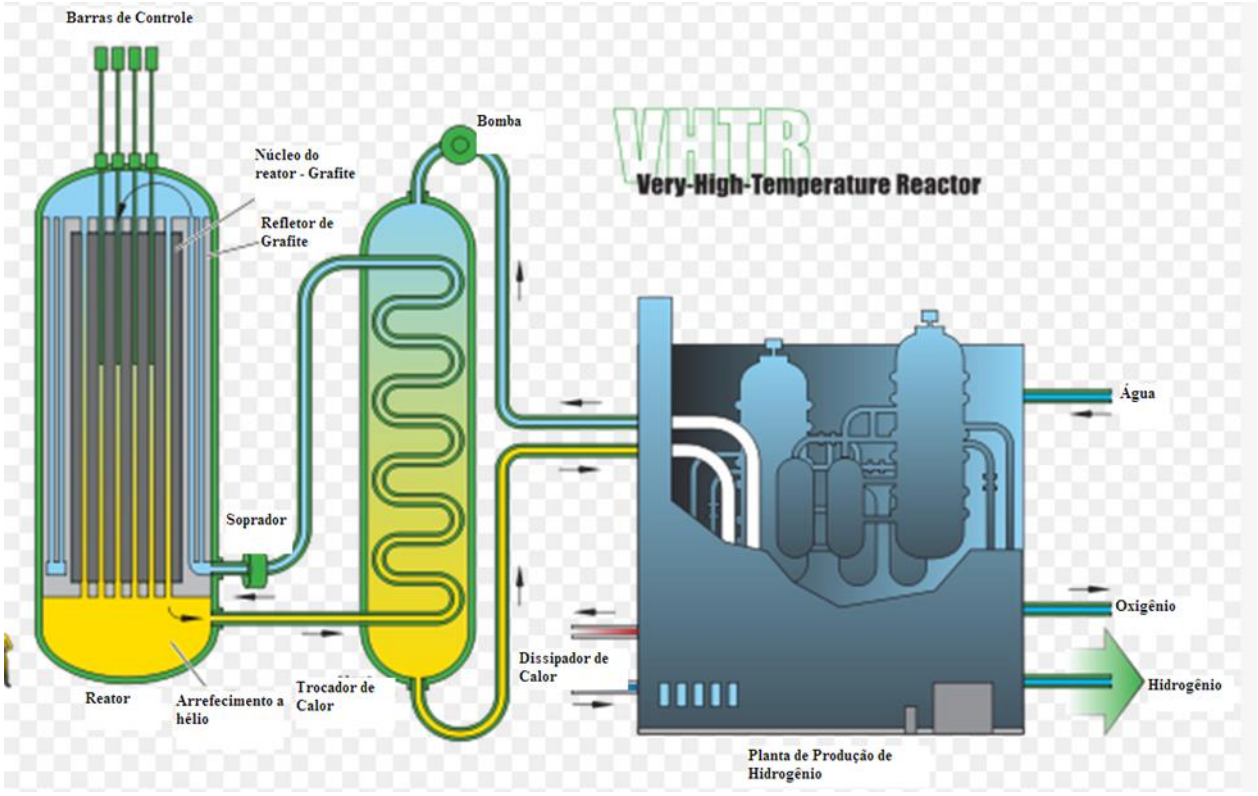
Figura 12.11 – Reator MSR



Fonte: CARDOSO, 2013.

- **VHTR** (*Very High Temperature Gas Reactors*): Os reatores de gás a altas temperaturas terão como fluido refrigerante o hélio e como moderador o grafite. A temperatura de saída irá variar entre 900°C e 1000°C e permitirá a produção de hidrogênio através de um trocador de calor intermediário com cogeração de energia ou a conversão direta em energia através de uma turbina a gás (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2013).

Figura 12.12 – Reator VHTR



Fonte: ENERGY.GOV, 2013.

12.5 Panorama Atual

A busca incessante pela ampliação da capacidade produtiva de energia em todo o mudo persiste por décadas. As consequências da exploração de fontes como hidrelétricas e termelétricas, têm sido constantemente debatidas, devido aos danos ocasionados ao ambiente durante construção e operação dessas usinas. A energia nuclear aparece como uma solução para as dificuldades atualmente enfrentadas, pois é uma fonte mais limpa e ao mesmo tempo com ampla capacidade de produção de energia, podendo suprir a necessidade demandada de energia (PEREIRA, 2011).

Os três grandes acidentes já ocorridos em usinas nucleares, Three Miles Island, Chernobyl e Fukushima, contribuíram significativamente com o cenário da exploração da energia nuclear ao longo dos anos. Atualmente, as principais mudanças que ocorreram no setor de energia nuclear, estão relacionadas ao último acidente, que aconteceu no Japão em junho de 2011. Serão abordados a seguir o estado atual da exploração da energia nuclear no mundo e no Brasil, após Fukushima.

12.5.1 Energia Nuclear no mundo

Após o acidente de Fukushima, o desenvolvimento da energia nuclear passou por grandes revisões, principalmente na questão de segurança das usinas. Percebeu-se a importância de aplicar novos conhecimentos de segurança nos reatores mais envelhecidos, para garantir desempenho e segurança ao longo da vida útil dos mesmos. De acordo com a AIEA (*International Atomic Energy Agency*), dos 437 reatores em operação, até o final de 2012, 162 possuíam mais de 30 anos de vida e 22 já haviam ultrapassado os 40 anos. Porém, enquanto 165 reatores passavam por processos de desligamento, em 2012, existiam 247 em fase de pesquisa operacional, 15 reato-

res com planos para reiniciar as operações, além de 66 em construção. O que evidencia o contínuo avanço da energia nuclear, mesmo após o acidente de Fukushima.

Desde Fukushima, diversos procedimentos têm sido adotados para a melhoria da segurança nas usinas nucleares. De fato, os problemas e soluções encontrados não são comuns a todos os países, nem a todos os reatores. Mas existem algumas ações que são comuns como: Avaliação da resistência sísmica da central, verificação das defesas para enchentes e tsunamis, instalação de geradores diesel de emergência, verificação das bombas de refrigeração, criação de procedimentos para a gestão de acidentes severos, entre outros. Portanto, pode-se dizer que a grande maioria das ações Pós-Fukushima incluem a garantia da resistência dos reatores a eventos extremos, como tsunamis e terremotos (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2013).

Segundo a AIEA, estava previsto para ser lançado, a partir de julho de 2013, um guia com as melhores práticas e conhecimentos sobre energia nuclear para implementar, manter e promover a manutenção dos reatores. Além disso, em 2012 a CSS (*Comission on Safety Standarts* – Comissão dos Padrões de Segurança), fez uma revisão nos requisitos de segurança propostos pela AIEA, com a inclusão das lições aprendidas sobre Fukushima. A intenção é de reforçar os requisitos e facilitar a implementação.

Em março de 2012, foi estabelecida a NSGC (*Nuclear Security Guidance Commitee*), com o objetivo de contribuir com qualidade, coerência e transparência nas áreas de tecnologia e políticas relacionadas a energia nuclear. Assim, a proposta era envolver mais Estados membros, para desenvolver publicações sobre energia nuclear (IAEA, 2013).

A Tabela 12.4 abaixo mostra o número de reatores em construção e em operação no mundo no final do ano de 2012:

Tabela 12.4 – Reatores em Operação e Construção em 2012

Países	Em Operação 2012		Em Construção 2012	
	Unidades	Total MW(e)	Unidades	Total MW (e)
América do Norte				
Canadá	19	13500		
Estados Unidos	104	102136	1	1165
América Latina				
Agentina	2	935	1	692
Brasil	2	1884	1	1245
México	2	1530		
Europa Ocidental				
Bélgica	7	5927		
Finlândia	4	2752	1	1600
França	58	63130	1	1600
Alemanha	9	12068		
Holanda	1	482		
Espanha	8	7560		
Suécia	10	9395		
Suiça	5	3278		
Reino Unido	16	9231		
Europa Oriental				
Armênia	1	375		
Bulgária	2	1906		
República Checa	6	3804		
Hungria	4	1889		
Romênia	2	1300		
Rússia	33	23643	10	8382
Eslováquia	4	1816	2	880
Eslovênia	1	688		
Ucrânia	15	13107	2	1900
África				
África do Sul	2	1860		
Oriente Médio e Sul da Ásia				
Índia	20	4391	7	4824
Irã	1	915		
Paquistão	3	725	2	
Emirados Árabes			1	1345
Extremo Oriente				
China	17	12860	29	28844
Japão	50	44215	2	2650
Coréia	23	20739	4	4980
TOTAL	437	373069	66	63337

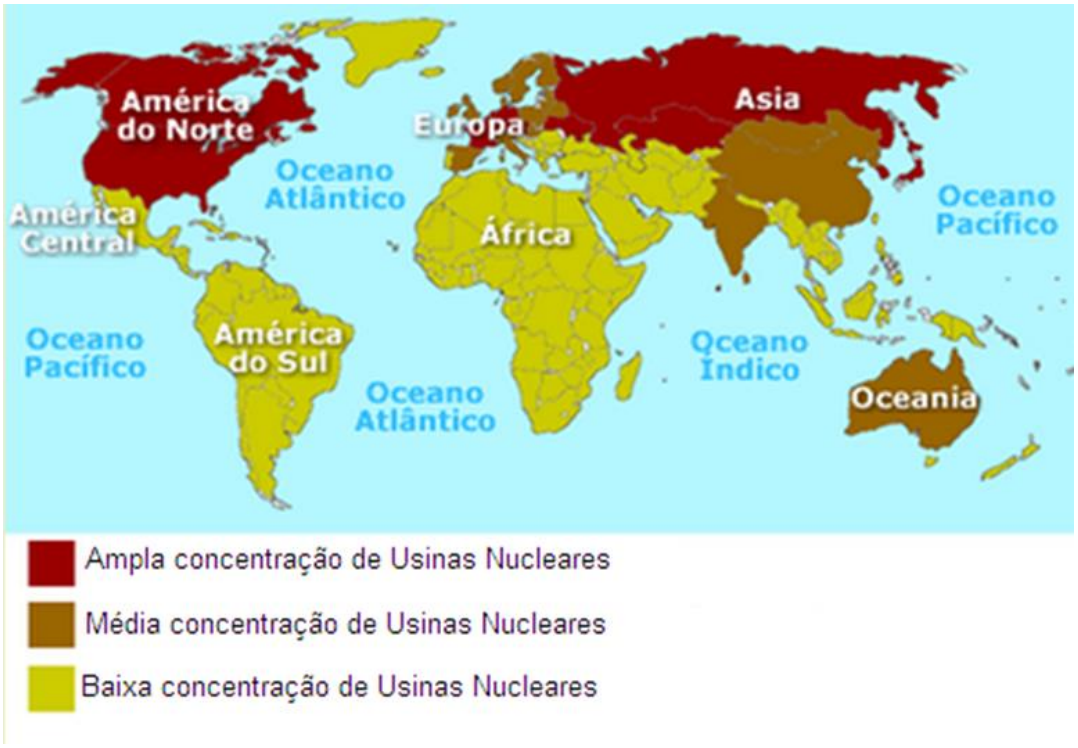
* Nota: Incluindo dados do Taiwan, China: 6 unidades em operação com capacidade total de 5018 MW(e) e 2 unidades em construção com capacidade total de 2600 MW(e).

Fonte: IAEA, 2013 – adaptado.

A produção total de energia nuclear mundial corresponde a 373.069 MW(e), dessa produção, os Estados Unidos, em 2012, foi responsável por 27,38% da geração de energia nuclear, seguido pela França com 16,92%, Japão com 11,85 %, Rússia com 6,33%, Alemanha 3,23%, entre outros. O Brasil foi responsável por apenas 0,5% dessa geração. Com a construção das novas usinas que estão previstas, estima-se que a geração de energia a partir de fonte nuclear irá aumentar em 63.337 MW(e), o que elevaria a produção mundial para 436.406 MW(e). É possível observar que o maior crescimento da obtenção de energia por fonte nuclear ocorrerá na China, Rússia, Índia e Coréia (IAEA, 2013).

O Mapa 12.1 mostra os continentes que possuem maior concentração de Usinas Nucleares.

Mapa 12.1 – Concentração de usinas Nucleares em 2012



Fonte: Ferreira, 2012 – adaptado.

Os países da América do Norte, Ásia e Europa são os que mais utilizam energia nuclear no mundo, já países da América do Sul e da África possuem uma utilização da energia nuclear pequena, com poucos reatores nucleares em funcionamento (FERREIRA, 2013).

Os Estados Unidos, país que mais explorou a energia nuclear no mundo, até o final de 2012, possui 104 usinas em operação que correspondem a uma capacidade instalada de 102.136 MW(e) (IAEA, 2013). Houve nos últimos anos um grande aumento de capacidade instalada nos EUA devido à ampliação da capacidade das usinas, o país ainda conta com 30 usinas novas em processo de licenciamento. Após o acidente de Fukushima, a preocupação voltou-se para a revisão das usinas, mas não afetou a direção das mesmas (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2011).

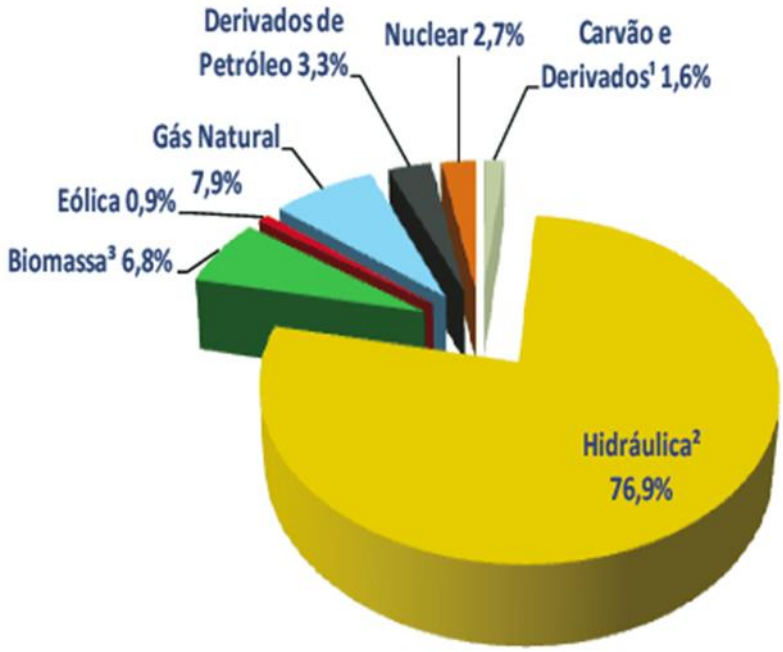
Na França, existem 58 reatores nucleares em operação, com capacidade de produção de 63.130 MW. Assim como nos EUA, Fukushima trouxe para a França revisões em suas usinas e testes de segurança. Segundo os relatórios, as usinas possuem um bom nível de segurança, mas possuem planos para melhorias nessa área (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2011)

O Japão, 3º no ranking dos países que mais exploram a energia nuclear, possui 50 reatores, com potência instalada de 44.125 MW. Existem 2 usinas em construção e nove reatores fechados permanentemente. Ampliação de vida útil e potência, mesmo após o acidente de Fukushima continuam fazendo parte dos planos do país (IAEA, 2013).

12.5.2 Energia Nuclear no Brasil

O Brasil possui matriz elétrica diversificada e limpa, em sua grande maioria. Porém, a base da pirâmide elétrica do país é composta, sobretudo pela energia hidráulica, que até o ano de 2012 foi responsável por 76,9% da produção de energia, como mostra o gráfico abaixo.

Gráfico 12.1 – Matriz Elétrica Brasileira em 2013



Fonte: EPE - Balanço Energético Nacional, 2013.

A produção de energia a partir da biomassa tem se tornado cada vez mais representativa, principalmente pelo aumento da produção de bagaço de cana de açúcar oriundo das usinas de etanol. Além disso, a energia eólica tem aumentado a sua representatividade a cada dia no país. É nesse cenário, que discussões a respeito da ampliação da utilização da energia nuclear se fazem presente. Até o ano de 2012 a energia nuclear foi responsável por 2,7% da energia elétrica produzida no Brasil e, de acordo com o Plano Nacional de Energia (PNE), essa capacidade se ampliará para 3,3% até o ano de 2030. O aumento da produção de energia por fonte nuclear justifica-se pelo fato do aumento da demanda por energia aliado a questão de que, as fontes renováveis ainda possuem alguns entraves para sua exploração, principalmente devido aos custos elevados de investimentos e pelo fato de estarem aliadas a sazonalidade de produção, não podendo constituir a base da pirâmide energética do país.

O aproveitamento da energia nuclear no Brasil resume-se a duas usinas em operação e uma em construção, Angra 1, Angra 2 e Angra 3, respectivamente.

Angra 1 (FIGURA 12.13) foi criada em 1985, pela empresa americana Westinghouse e possui 657 MW de potência (GESEL, 2011). Angra 2 (Figura 12.14) está em operação desde 2000 (começou a ser construída em 1981, porém devido a crise econômica brasileira em 1983, foi concluída somente em 2000) e é resultado de uma parceria entre Brasil e Alemanha. Essa usina possui o modelo de reator alemão Siemens/KWU com 1350 MW de potência (SHIRAZI, 2013).

Atualmente está em construção a Usina de Angra 3 (Figura 12.15), que terá 1405 MW de potência e teve suas obras iniciadas em 2010, sendo que a obra estava parada desde 1986, devido a restrições ambientais. Vão existir algumas diferenças entre Angra 2 e Angra 3, como o fato de que a nova usina terá sala de controle digital e será erguida sobre rochas (SHIRAZI, 2013).

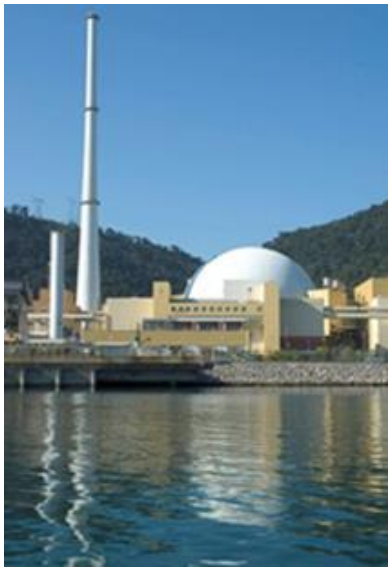
Em comum, as 3 centrais utilizarão o reator do tipo PWR (reator a água pressurizada), que conta com dois circuitos de água, diminuindo a possibilidade de vazamento de radiação para o ambiente (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2013).

Em um horizonte de até 2030 prevê-se a construção de 4 a 8 usinas nucleares (CENTRAL NUCLEAR DE ANGRA DOS REIS, 2013). O País possui também 4 reatores em fase de pesquisa, dois localizados no estado de São Paulo, um em Pernambuco e um em Minas Gerais (PEREIRA, 2011). Em relação ao aproveitamento mundial da energia nuclear, o Brasil foi responsável por apenas 1% da geração de energia nuclear (ELETROBRÁS ELETRONUCLEAR, 2011).

Figura 12.13 – Angra 1

Fonte: CENTRAL NUCLEAR DE ANGRA DOS REIS, 2013.

Figura 12.14 – Angra 2



Fonte: CENTRAL NUCLEAR DE ANGRA DOS REIS, 2013.

Figura 12.15 – Construção de Angra 3

Fonte: CENTRAL NUCLEAR DE ANGRA DOS REIS, 2013.

Com base no Plano Nacional de Energia (PNE 2030), o país precisará de expandir sua oferta de energia nuclear. A previsão é a instalação de duais centrais nucleares, a Central Nuclear do Nordeste e a Central Nuclear do Sudeste. A prioridade de execução é a Central do Nordeste (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2013).

De acordo com o planejamento inicial, a central nuclear do Nordeste iniciaria sua construção em 2008 e entraria em operação em agosto de 2030. A central contaria com 6 reatores nucleares, com potência total de 6.900 MWe e capacidade de geração diária de 165.600 MWh. Inicialmente a previsão era que o primeiro reator entrasse em operação em 2022 e o último reator em 2028. A usina seria desligada totalmente em 2110. Após o desligamento da central, os rejeitos seriam descomissionados, ou seja seriam desmantelados, descontaminados, definitivamente armazenados e os combustíveis irradiados teriam solução definitiva. Para isso, para cada MWh comercializado, seriam guardados US$2,00 para o descomissionamento. Porém, o que aconteceu foi que até no ano de 2013, o empreendimento ainda continua na fase de identificação da área adequada para instalação das usinas. Esse empreendimento ainda continua nos planos do governo brasileiro (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2013).

A construção de Usinas Nucleares no Brasil, conta com o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento de Usinas Nucleares (RENUCLEAR), que contribuí com a isenção de imposto sobre produto industrializado e do imposto de importação, para vendas no mercado interno, ou importação de equipamentos para serem utilizados em obras. Esse incentivo é significativo. Em Angra 3, por exemplo, os investimentos que estariam somados em 9,9 bilhões de reais, com a RENUCLEAR, cairiam para 8,9 bilhões de reais (BRAZIL ENERGY FRONTIERS, 2013).

Para a implantação de usinas nucleares no país é necessário passar por um processo de licenciamento que inclui dois tipos de licenças. São requeridos o Relatório Preliminar para Análise de Segurança (RPAS) e o Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS), que não possuem prazo para serem aprovados. A Nuclear Regulatory Comission (NRC) estabeleceu um novo processo de licença que inclui: Aprovação adiantada do local da usina e utilização do projeto padrão certificado. Desse modo, é possível obter a licença em menor prazo, o que implica em maior interesse de investidores (MÜLLER, 2010).

Em termos de reserva de combustível, estima-se que existem no Brasil cerca de 309.000 toneladas de Urânio. Na reserva de Santa Quitéria, no Ceará, a quantidade de Urânio chega a 142.500 toneladas, já em Caetité, na Bahia, podem ser encontradas cerca de 93.200 toneladas do mineral. Existem também pequenas jazidas como Gandarela, em Minas Gerais e Rio Cristalino, no Pará, entre outras. A jazida de Caetité possui suprimentos suficientes para Angra 1, Angra 2 e Angra 3 e mais usinas, com cerca de 4.000MW no total, durante toda a vida útil das mesmas (FUNDAÇÃO GATÚLIO VARGAS, 2013).

De acordo com o Plano Nacional de Energia (PNE 2030), as reservas de Urânio do Brasil podem ser ampliadas com novos trabalhos de prospecção e estudos do mineral. Ainda de acordo com o PNE 2030, pode-se considerar que, do ponto de vista de reservas de combustível, este não constitui uma barreira para o aproveitamento da energia nuclear no país.

Com relação ao tipo de reator utilizado no país, nas Usinas de Angra1, Angra 2 e Angra 3, é utilizado/será utilizado, o reator PWR (*Pressurized Water Reactor* - Reator a Água Pressurizada). Nesse tipo de reator o Urânio é colocado em forma de pastilhas dentro de tubos feitos de liga de Zircônio. Esses tubos são montados em feixes, constituindo assim o elemento combustível. Para controlar a reação em cadeia são usadas barras de controle, feitas de cádmio (CARDOSO, 2011).

O Reator PWR funciona com 2 circuitos de água, o que diminui os riscos de contaminação, pois somente o sistema primário circula com água radioativa. O circuito primário é constituído pelo vaso de pressão, água de refrigeração e gerador de vapor. Nesse circuito a água de refrigeração, também é utilizada para aquecer outro feixe de água que circula pelo gerador de calor, através de um trocador de calor. No circuito secundário, a água passa pelo gerador de vapor, vira vapor, passa pela turbina e então é condensada e bombeada novamente. (CARDOSO, 2011)

Existem 4 barreiras físicas que são utilizadas para impedir a saída de material radioativo, nos reatores utilizados no Brasil:

1ª barreira: Vareta de Zircônio. São fechadas e podem suportar elevadas temperaturas.

2ª barreira: Vaso de pressão do reator. Constitui o local onde são colocados os elementos combustíveis, o vaso é montado sobre uma estrutura de concreto com 5 metros de espessura na base.

3ª barreira: Contenção. É uma carcaça de aço, onde são instalados o vaso de pressão e o gerador de vapor. O objetivo é conter os gases ou vapores que podem ser liberados.

4ª barreira: Edifício do Reator. Constituído de concreto, reveste a contenção (CARDOSO, 2011).

Atualmente estão sendo desenvolvidos reatores de 3ª Geração que proporcionarão mais segurança, através de sistemas passivos que desligarão a usina quando necessário, independente da ação do moderador. Esses reatores entrarão em escala comercial entre os anos e 2015 e 2025.

12.5.2.1 Desenvolvimento Tecnológico

De acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), esta em fase de concepção, em 2013, o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB). Com funções múltiplas, a proposta do reator é de trazer desenvolvimento para as áreas de saúde, indústria, agricultura e meio ambiente, por meio da segurança do fornecimento do Técnécio, além da solução para o desenvolvimento de combustíveis nucleares e materiais para uso em reatores (ROSA, 2013).

O Reator RMB opera em baixas temperaturas e foi orçado em cerca de R$ 850.000.000. A proposta é de um reator mais compacto e com fluxo de nêutrons maior. Por esse motivo, ele utiliza uma menor quantidade de Urânio

no combustível, porém com um enriquecimento maior, deixando a concentração de Urânio-235 em 20%, diferente dos 3,2% normalmente utilizados em usinas nucleares (BAIMA, 2013).

Além do reator RMB, segundo o Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão, está prevista a implantação de uma Usina de Enriquecimento Isotópico de Urânio, em escala industrial, composta por dois módulos que se complementam, sendo um em Iperó (São Paulo) e o outro em Resende (Rio de Janeiro). O Objetivo é adequar a velocidade da implantação da Usina de Enriquecimento às demandas das Unidades de Angra I, Angra II e Angra III, que corresponderão a demanda total do país, em combustível nuclear.

Existem também outros projetos que estavam em fase de implantação, até maio de 2013, segundo o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, são eles:

- Implantação do Laboratório de Fusão da CNEN, na cidade de Cachoeira Paulista;
- Ampliação da Unidade de Concentrado de Urânio, em Caetité, duplicando a capacidade de beneficiamento da planta industrial;
- Implantação de usina para conversão de urânio U-3O8 (Octaóxido de Triurânio) em UF6 (Hexafluoreto de Urânio), para promover a nacionalização do ciclo que envolve a obtenção do combustível nuclear;
- Implementação das atividades de Prospecção e de Pesquisa Mineral. O Objetivo é ampliar e/ou transformar as reservas de urânio já medidas, não conhecidas, indicadas e já conhecidas;
- Execução de um grande número de pesquisas científicas e projetos de desenvolvimento tecnológico pelas unidades da DPD/CNEN: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), em Belo Horizonte; Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE), em Recife; Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste (CRCN-CO), em Goiânia; Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), no Rio de Janeiro; Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), em São Paulo; e Laboratório de Poços de Caldas (LAPOC), em Poços de Caldas;
- Fomento a Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, com o objetivo de desenvolver o conhecimento nacional;
- Formação Especializada para o Setor Nuclear com a concessão de bolsas de pós-graduação para mestrado (acadêmico ou profissional), doutorado e pós-doutorado e, gestão administrativa dos cursos de pós-graduação, implementados nas unidades da CNEN.

É possível observar, portanto, que o acidente de Fukushima não provocou medidas precipitadas e que o desenvolvimento da energia nuclear continua nos planos do Governo Brasileiro. Os planos do país visam, principalmente, garantia no fornecimento de combustível para as usinas implantadas e em fase de implantação.

O terremoto que ocorreu no Japão foi causado pela aproximação de placas tectônicas (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2011). No Atlântico Sul os eventos sísmicos afastam as placas e por isso, seria impossível ocorrer no Brasil o mesmo que ocorreu no Japão. Ainda assim o governo esta acompanhando os testes que vem sendo realizados em todo o mundo no quesito segurança, além de também realizar os seus próprios testes (ROTHMAN, 2013).

12.6 Tendências Futuras

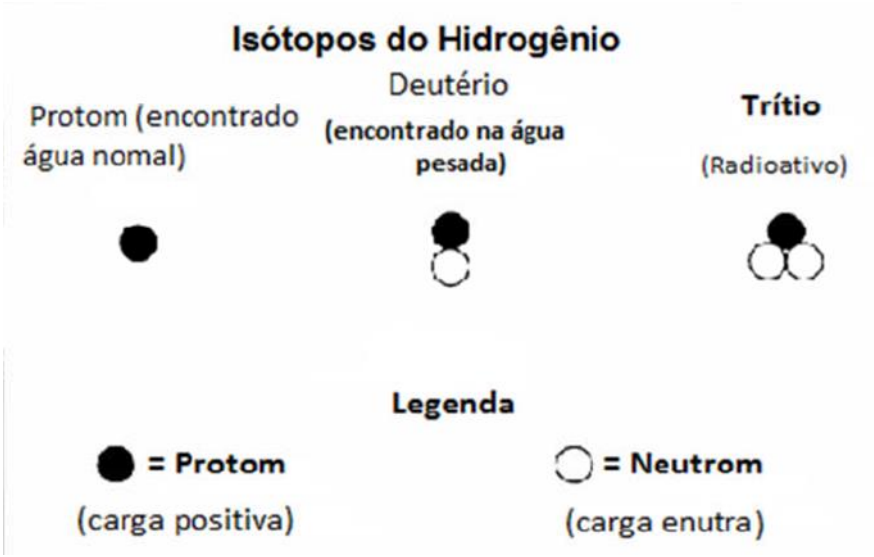
12.6.1 A Fusão Nuclear

A Fusão Nuclear é estudada desde 1950 e propõe a solução para a obtenção de energia, eliminando problemas como esgotamento de combustíveis fósseis, aumento de demanda por energia, entre outros dilemas enfrentados pelo mundo. A proposta é de recriar o processo que gera naturalmente a energia do sol, uma vez que a vida na Terra e todas as formas de energia têm origem na fusão (BOSCO, 2008).

Existem mais de 80 tipos de reações possíveis para o aproveitamento da fusão nuclear. A mais atrativa atualmente é a que utiliza os combustíveis que são isótopos do hidrogênio: deutério e trítio. Estima-se que 1 kg de Deutério+Trítio teria a capacidade de liberar 100.000.000 kWh de energia (BOSCO, 2008). Até o momento só existe tecnologia suficiente para fazer a fusão deutério-trítio, uma vez que a fusão deutério-deutério exige temperaturas extremamente elevadas (FREUDENRICH, 2013).

Pode-se observar a estrutura atômica dos combustíveis utilizados para obtenção de energia por meio da fusão na Figura 12.16.

Figura 12.16 – Isótopos do Hidrogênio

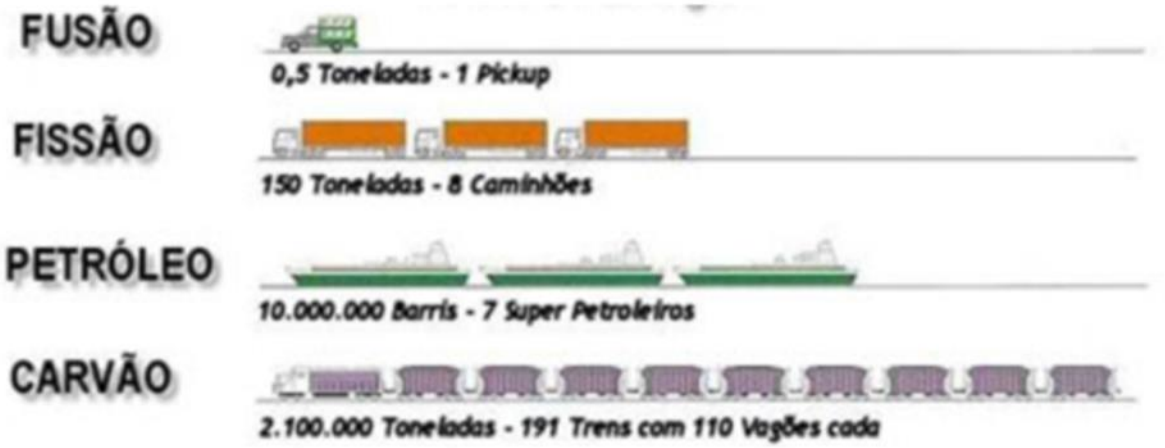


Fonte: STORMS, 2013.

A energia criada pela fusão dos átomos é obtida através de um combustível barato (os isótopos), não emite gases de efeito estufa, é mais segura que a fissão nuclear, possui capacidade de produção em larga escala e o lixo radioativo gerado possui pequena meia-vida (SHUKMAN, 2013). Além disso, em uma central de fusão nuclear, o transporte de combustíveis se restringe ao local onde fica o reator e esse combustível é abastecido a medida que é utilizado, permitindo parada quase instantânea em caso de emergência, diferentemente das centrais movidas pela fissão nuclear (O QUE É A ENERGIA NUCLEAR, 2013).

A figura 12.17 exibe o consumo de combustível aproximado para operar uma usina de 1 GW por um ano, com diversas fontes de energia. Observa-se que a energia gerada pela fusão é imensamente maior, utilizando uma menor quantidade de combustível, quando comparada com à outros processos de obtenção de energia e, por isso, é muito atrativa para o mundo, podendo solucionar os problema relativos a obtenção de energia, aumento de demanda e emissão de poluentes.

Figura 12.17: Consumo de Combustível para gerar 1 GW



Fonte: ITA, 2003.

Para obter a fusão, é necessário criar condições para controlar a tendência de cargas iguais se repelirem, tais condições são difíceis de ser mantidas e constituem o principal impasse da geração de energia através da fusão. Essas condições ideais são: altas temperaturas e altas pressões. Para se atingir a temperatura necessária para que ocorra a fusão, que é de 100 milhões de Kelvin, são utilizados lasers e micro-ondas, o hidrogênio fica na configuração de plasma, ou seja, os elétrons são arrancados dos átomos e esses se movem livremente. Já, para atingir as elevadas pressões necessárias, são utilizados campos magnéticos lasers ou feixe de íons, com o objetivo de deixar a distância dos átomos igual a $1x10^{-15}$ metros (FREUDENRICH, 2013).

Apesar de existirem diversos projetos de reatores a fusão, o obstáculo que mais impede o desenvolvimento dos mesmos é a dificuldade de manter o plasma nas temperaturas e velocidades adequadas, durante o tempo necessário para que ocorra a fusão e se produza mais energia do que aquela consumida durante o processo (PALANDI, 2010).

Existem alguns obstáculos que também são enfrentados para a obtenção de energia a partir da fusão. Entre eles estão o fato do Trítio ser um elemento raro na natureza e os nêutrons produzidos por ele originarem núcleos radioativos. Porém, esses dois problemas possuem solução. O problema da escassez de trítio pode ser resolvido pelo fato de ser possível obtê-lo a partir do bombardeamento de núcleos de lítio 6 pelos nêutrons liberados, assim iria ser resolvido também o problema do nêutron radioativo, pois os núcleos de lítio 6 podem absorvê-los (PALANDI, 2010).

Podemos resumir os processos de obtenção de energia por fusão nuclear em 4 modelos principais: Confinamento Magnético (MCF), Confinamento Inercial, Catalisação por Múon e Reações Nucleares de Baixa Energia (LENR) (BOSCO, 2008). Estes processos serão abordados a seguir:

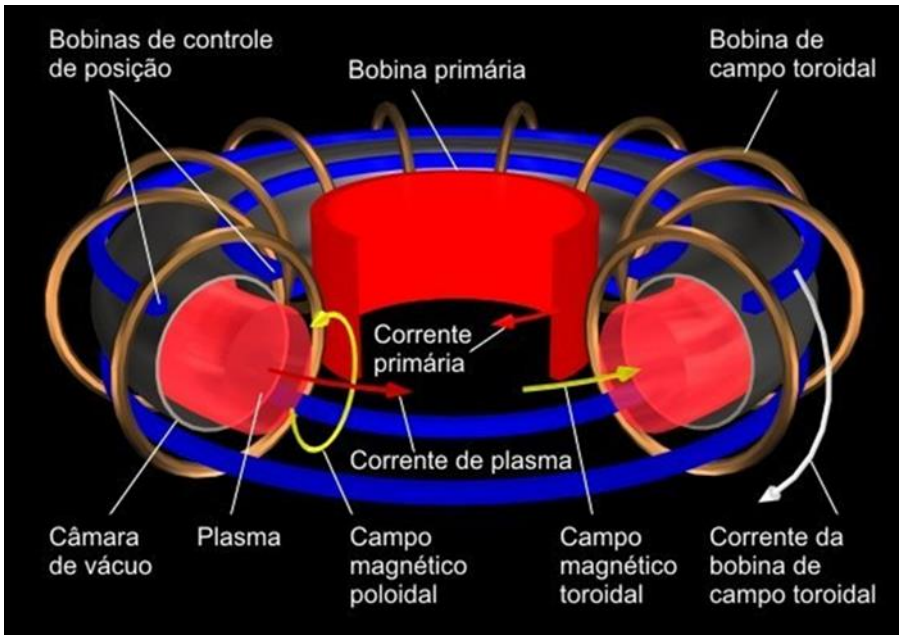
- Confinamento Magnético

Nesse processo são utilizados feixes de partículas neutras de aceleradores, eletricidade e microondas para aquecer o hidrogênio e transformá-lo em plasma, que é comprimido por imãs supercondutores, ocorrendo à fusão. As partículas são confinadas em geometrias apropriadas, normalmente em um formato toroidal (como uma rosca), que gera um campo elétrico mais intenso (FREUDENRICH, 2013). Os campos magnéticos intensos não permitem o contato das partículas com as paredes da câmara de vácuo por um determinado tempo (BOSCO, 2008). O

objetivo é facilitar a fusão, estendendo o tempo que os íons permanecem uns próximos aos outros (REATORES DE FUSÃO II, 2013).

Existe um formato de reator, que utiliza o confinamento magnético, denominado de Tokamak (Câmara Toroidal com Bobina Magnética). Este reator possui o seu funcionamento semelhante ao de um transformador. No enrolamento primário existe um bobina ôhmica e no enrolamento secundário uma câmara toroidal, onde é criado um vácuo. A variação da corrente cria uma corrente induzida no enrolamento secundário, que acende o plasma. Esse, normalmente é aquecido pela passagem de corrente pelo próprio plasma. Esse processo torna-se menos eficiente a medida que o plasma vai sendo aquecido, devido ao fato da resistividade diminuir com a temperatura. Pode-se observar um esquema desse reator na Figura 12.18 (KAMINISHIKAWAHARA, 2004).

Figura 12.18 – Reator Tokamak



Fonte: TOKAMAKS, 2013.

- Confinamento Inercial

O processo consiste na fusão rápida, que não permite que os núcleos tenham tempo para se afastar, esse processo pode ocorrer por fusão a laser ou por fusão por feixe de íons. Utiliza a inércia para agrupar uma pequena quantidade de Deutério e Trítio, que são colocados em pequenas cápsulas, que recebem muita energia, provocando a evaporação da camada exterior, que produz colisões energéticas, comprimindo a cápsula. A densidade do núcleo aumenta drasticamente, aumentando também a temperatura (REATORES DE FUSÃO II, 2013). A seguir um esquema do processo descrito:

Figura 12.19 – Esquema do Confinamento Inercial

Fonte: FREUDENRICH, 2013.

- Catalisação por Múon

Esse processo permite a fusão em uma temperatura ambiente. Dá-se o nome de múon para duas partículas fundamentais semi-estáveis com cargas positiva e negativa, com massa 207 vezes maior que a massa dos elétrons. Os núcleos do deutério e do trítio formam átomos com muões, que orbitam muito perto dos núcleos provocando uma blindagem que diminui a repulsão entre eles, permitindo distância curta entre os mesmos, e que assim possam fundir (LOPES, 2013).

- Reações Nucleares de Baixa Energia

A Fusão a Frio foi inicialmente descrita em 1989, por Stanley Pons e Martin Fleischmann. A descrição inicial é que durante um procedimento corriqueiro de eletrólise, utilizando como eletrodos a platina e o paládio, a corrente elétrica teria atraído o deutério, existente na agua pesada, ao paládio. Devido a alta pressão em que estavam

submetidos, os núcleos de deutério se fundiram, emitindo nêutrons e quantidade indeterminada de raios gama indicativa de energia (LEVADA, 2009).

A descoberta descrita gerou uma série de questionamentos, uma vez que até então, a única forma de se obter a fusão seria através de elevadíssimas temperaturas. Porém, diversos cientistas tentaram repetir o fenômeno, mais nada se conseguiu. Por esse motivo, a fusão a frio foi intensamente questionada durante anos, o que levou a oscilação de pesquisas nessa área. Devido à polêmica que causou à elite científica o fenômeno passou a ser denominado de Reações Nucleares de Baixa Energia (STORMS, 2013).

O aparelho para realização da fusão a frio é muito mais simples, quando comparado com os de fusão a quente, porém o processo é extremamente complexo. São utilizados o cátodo de paládio e a célula de eletrólise. A reação entre o cátodo de metal e o deutério gasoso, faz com que o líquido da célula seja aquecido, gerando grandes quantidades de calor. Esse calor precisa ser precisamente medido, e para isso utiliza-se um aparelho denominado calorímetro, esse equipamento requer habilidades e treinamentos específicos para ser utilizado (KRIVIT, 2013). Existem diversos tipos de calorímetros que podem ser classificados de diversas formas. Os mais utilizados são do tipo: isoperibólico, envelope-tipo e fluxo de massa (CHAGAS, 1991).

12.6.2 Projetos pelo Mundo

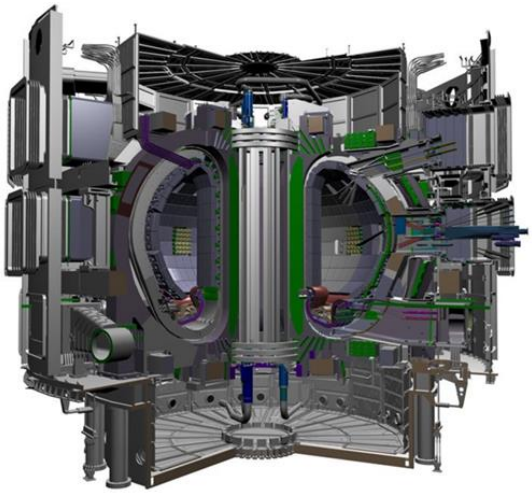
A seguir serão apresentados alguns projetos de reatores de fusão, de maior expressão, que vêm sendo desenvolvidos pelo mundo.

- ITER (Reator Internacional Termonuclear Experimental)

O Objetivo do ITER é demonstrar que é possível obter energia em escala comercial proveniente da fusão nuclear, para isso serão testadas diversas tecnologias (ITER, 2013). Com investimento estimado em 21 bilhões de dólares, o ITER está localizado na França (Gadarache) e a estimativa é que a produção de energia seja iniciada em 2027. O reator utilizado será do tipo Tokomak, com a tecnologia do confinamento magnético. O objetivo é atingir uma temperatura de 45 milhões de °C (FUSÃO NUCLEAR, 2013). O reator terá irá pesar aproximadamente 19.000 toneladas (MORAIS, 2013).

Os rumores em torno do funcionamento desse reator são grandes, e alguns pesquisadores acreditam que ele não funcionará como uma usina e sim como um ótimo laboratório (FUSÃO NUCLEAR, 2013).

Figura 12.20 – O reator ITER



Fonte: ITER, 2013.

- Ignitor

Esse reator é um projeto da Itália e da Rússia, sendo que o reator seria erguido nas proximidades de Moscou. O Ignitor tem proporções bem menores que o ITER, com 1,3 metros de diâmetro e 700 toneladas (FUSÃO NUCLEAR, 2013). Mesmo que esse reator nunca tenha a capacidade de gerar mais energia do que consumir, o projeto já é visto como uma excelente fonte de pesquisa e desenvolvimento para a fusão nuclear (MORAIS, 2013).

Figura 12.21 – Visão externa do Ignitor

Fonte: FUSÃO NUCLEAR, 2013.

- Wendelstein 7-X

O Wendelstein 7-x é um projeto de pesquisa da Alemanha. Esse reator também possui como finalidade a pesquisa e a demonstração de que esse tipo de reator pode ser utilizado para a produção de energia por fusão, não possuindo a finalidade de produção efetiva de energia (FUSÃO NUCLEAR, 2013).

O reator utilizado é do tipo Stellarator. Esse tipo de reator não possui corrente, o que elimina o problema de instabilidades. A previsão é que entre em funcionamento no ano de 2014. O principal objetivo é superar as dificuldades enfrentadas pelo reator stellarator antecessor (MAX PLANCK INSTITUT FUR PLASMAPHYSIK, 2013).

Figura 12.22 – Reator Wendelstein em Construção

Fonte: MAX PLANCK INSTITUT FUR PLASMAPHYSIK, 2013.

Os projetos existentes atualmente na área de fusão nuclear, ainda possuem como principal objetivo o aprimoramento da obtenção dessa energia, com experimentos que possibilitem entender melhor a energia da fusão e a forma de conseguir controlá-la, agregando conhecimento, possibilitando desenvolvimento da exploração da energia por fusão nuclear.

12.6.3 A Fusão Nuclear no Brasil

O Brasil possui sua matriz elétrica diversificada e possibilidade de aproveitamento de diversas fontes de energia como: solar, eólica, biomassa (principalmente com o aumento da produção de cana-de-açúcar), hidráulica e nuclear.

Os investimentos em pesquisas para o aproveitamento da energia nuclear no Brasil, ainda são muito pequenos, se compararmos com potências como o Japão e França, uma vez que esses países possuem matriz energética restrita e têm a necessidade de aproveitar ao máximo a exploração dessa fonte. Porém esse investimento não é nulo (GARCIA, 2009). Mesmo na energia nuclear obtida a partir da fusão, que ainda não possui aplicação comercial, o país conta com investimento em pesquisas para uma futura obtenção de energia. Existem alguns grupos no Brasil que trabalham na área de pesquisas e aplicações da fusão nuclear, como por exemplo:

- UNICAMP, que desde 1974 trabalha com pesquisas na área e possui um pequeno reator TOKMAK, o experimento conta com 1 pesquisador e com a ajuda de estudantes; (BOSCO, 2008);

- USP, iniciou as pesquisas em 1977, quando construiu o primeiro Tokamak brasileiro (TBR-1), a equipe é composta por 10 pesquisadores, técnicos e estudantes;

- INPE, iniciou com as pesquisas no ano de 1987 e em 2008 contava com um tokamak projetado e construído no Brasil, são 5 pesquisadores, técnicos e estudantes envolvidos no desenvolvimento do experimento;

- Existem também instituições envolvidas com pesquisas teóricas como UFGRS, ITA, UFMT, UnB, USP, UNESP, entre outros (BOSCO, 2008);

- Acordo de Colaboração científica com a Euratom, organização Européia, para desenvolvimento de tecnologia em conjunto (ORICCHIO, 2013).

Desde 1987, foram feitas várias tentativas, para que fosse criado o Programa Nacional de Fusão e só em 2006 foi criado a Rede Nacional de fusão, as tentativas para a criação do Programa de Nacional de Fusão ainda continuam. (BOSCO, 2008).

Os supercondutores utilizados para conduzir elevadíssima corrente elétrica para as bobinas do reator são compostos principalmente de Nióbio e Titânio. O Brasil possui cerca de 97% da reserva mundial de Nióbio (ORICCHIO, 2013). Por esse motivo, com o aproveitamento comercial da energia a partir da fusão, o Brasil poderá se tornar exportador desse material, o que movimentará a economia do país, além de reduzir custos de construção dos reatores brasileiros. Estima-se que as reservas brasileiras totalizem cerca de dezenas de trilhões de reais (BARATA, 2013). É possível observar na Tabela 12.5 a reserva de nióbio existente no Brasil, com a sua respectiva produção nos anos de 2008 e 2009:

Tabela 12.5 – Reserva e produção mundial de nióbio

PAÍSES	**RESERVAS**	**PRODUÇÃO**		
	2009	2008	2009	(%)
Brasil	4.499.106	144.514	165.723	97
Canadá	46.000	4.380	4.300	3
Outros	21.000	483	400	0,24
TOTAL	4.566.106	149.377	170.423	100

Fonte: BARATA, 2013 – adaptado.

Apesar de o Brasil possuir uma diversidade de recursos naturais que ainda podem ser explorados e da energia da fusão constituir-se como uma fonte futura, o país não descarta investimentos em pesquisas para sua obtenção. As pesquisas realizadas mantém o país competitivo no setor e demonstra que com o avanço das pesquisas e possibilidade de real obtenção de energia em larga escala, o Brasil teria plena condições para implantar usinas nucleares que operem a partir da fusão nuclear.

12.7 Considerações Finais

A obtenção de energia que substitua a dependência dos combustíveis fósseis é hoje um dos motivos de grande preocupação de todo o mundo. Alternativas energéticas como solar, eólica e biomassa são cada vez mais pesquisadas e a inserção dessas fontes na matriz energética mundial será cada vez mais presente. A questão é que as fontes renováveis ainda possuem barreiras para seu desenvolvimento como sazonalidade de produção, elevados investimentos, baixa capacidade de geração e disponibilidade de recursos, que, com o aumento da demanda por energia, tornariam o investimento somente nessas fontes insuficiente para a produção total de energia exigida.

A exploração da energia nuclear torna-se cada vez mais atrativa, diante das vantagens da sua exploração: garantia de fornecimento de energia, baixa emissão de poluentes e disponibilidade de combustível. Essas vantagens tornam essa energia uma excelente opção para países que possuam baixa disponibilidade de recursos energéticos e necessidade de aumento de produção.

Apesar de apresentar algumas desvantagens como o fato de não ser renovável, com a possibilidade de esgotamento do combustível, e elevados custos de construção e manutenção, a energia nuclear ainda assim constitui-se uma potente fonte. Principalmente com o desenvolvimento dos seus estudos, que culminariam na fusão nuclear, eliminando o então problema energia.

Alguns desafios enfrentados pela energia nuclear decorrem da possibilidade de acidentes de grandes proporções, produção de lixo radioativo e terrorismo. Para enfrentar esses desafios, têm-se aumentando cada vez mais o investimento em pesquisas para a produção de reatores nucleares que forneçam mais segurança, diminuindo os riscos de acidentes e a utilização de reatores com recirculação de combustível, diminuindo a produção de lixo radioativo e possibilidade de construção de bombas atômicas.

A utilização de reatores nucleares avançados permitirá o aumento do investimento em usinas nucleares, possibilitando aos países suprirem a energia demandada pela população com mais segurança. Diante da possibilidade da implantação desses reatores até o ano de 2030, o que se espera é que a energia nuclear tome cada vez mais espaço no mercado mundial, tornando-se uma das principais fontes de obtenção de energia elétrica.

No Brasil, o aproveitamento por fonte nuclear ainda é pequeno, devido a grande disponibilidade de recursos existentes no país, que não tornam a energia nuclear uma necessidade imediata. Ainda assim, o investimento em pesquisas, projetos e usinas têm-se feito presente e, em longo prazo, o que se espera é o aumento da exploração dessa fonte.

Capítulo 13: Balanços Energéticos: Instrumento de Planejamento[13]

13.1 Introdução

Para que se possa entender como surgiu a produção do Balanço Energético e a que se deve este surgimento, necessita-se que sejam percorridos alguns marcos da história mundial.

De forma a detalhar estatisticamente as diversas formas de energia desde a sua origem até o seu consumo final, o Balanço Energético surgiu como um aliado, frente aos eventos que desencadearam a crise do petróleo da década de 1970.

Compreendendo um pouco mais o setor energético, o advento da moderna indústria do petróleo deu-se em meados do século XIX, tornando-se o principal fornecedor de energia mundo afora, levando ao crescimento acelerado e à formação de grandes potências econômicas.

Porém, se nos países que detinham as maiores economias, o petróleo era sinônimo de prosperidade, o mesmo não acontecia aos países que produziam o energético, como as nações do Oriente Médio (VIRTUALIA, 2013).

Desde o fim da Primeira Guerra Mundial, estes países eram os principais produtores de petróleo do mundo, o que levou à cobiça dos europeus, que dominaram a região por vários anos. Aos poucos, a independência política destes foi acontecendo. Mas, ainda nos anos 70, não conseguiam ter domínio sobre sua principal riqueza (VIRTUALIA, 2013).

Nessa época cerca de mais de 90% da produção dos países do Oriente Médio era controlada por um grupo de empresas, conhecidas como as "Sete Irmãs", cujos membros se reservavam ao direito de partilhar o mercado de petróleo e fixar os preços como quisessem (VIRTUALIA, 2013).

A criação deste conglomerado de empresas se deu em uma reunião secreta na Escócia em 27 de agosto de 1928, com o objetivo de controlar a todo o custo o comércio e exploração de petróleo e gás (MDD, 2013).

Era composta por sete grandes companhias petrolíferas da época, a saber (WIKIPÉDIA, 2013):

- Royal Dutch Shell, atualmente chamada simplesmente de Shell, que é uma empresa multinacional anglo-holandesa, fundada em 1907;

- Anglo-Persian Oil Company (APOC), mais tarde British Petroleum Amoco ou BP Amoco, atualmente conhecida como BP, que foi fundada em 1909, após a descoberta de um grande campo de petróleo no Irã. Esta foi a primeira empresa a explorar as reservas de petróleo do Oriente Médio, tornando-se a BP em 1954;

- Standard Oil of New Jersey (Esso) e Standard Oil of New York (Mobil), ambas empresas americanas com sede no estado do Texas, que hoje formam a companhia ExxonMobil, fundida em novembro de 1999;

- Texaco e Standard Oil of California, que se fundiram e atualmente formam a Chevron, com sede nos Estados Unidos, sendo uma das maiores companhias petrolíferas do mundo;

- Gulf Oil, empresa norte-americana fundada em 1901 e que foi absorvida pela Chevron na década de 1980.

[13] Trabalho realizado pela estagiária Miriam Isabella da Silva Mendes, em 2013.

Hoje, apenas quatro dessas empresas atuam no mercado petroleiro: a ExxonMobil, Chevron, Shell e BP e ainda controlam setores importantes do refino e distribuição de produtos derivados do petróleo (WIKIPÉDIA, 2013).

Naquele período, a economia mundial era completamente dependente do petróleo. Diante disso, os países produtores uniram forças e começaram a travar a luta com as grandes companhias petrolíferas, iniciando com o rompimento com o grupo de empresas "Sete Irmãs" e fundando a Organização dos Países Exportadores de Petróleo, a OPEP (VIRTUALIA, 2013).

Não eram somente interesses econômicos que estavam envolvidos nesse entrave, mas políticos também, o que levou em 1973, diante dos conflitos entre árabes e israelenses, quando os árabes sofreram sérias derrotas, a fazerem do petróleo uma arma econômica (VIRTUALIA, 2013).

Diante das sucessivas derrotas e a fim de pressionar os Estados Unidos e a Europa, que apoiavam os israelenses, os países árabes reduziram drasticamente a produção de petróleo, acarretando em um aumento exorbitante do preço deste produto, gerando consequências mundiais, como o racionamento de energia, desequilíbrio econômico e estagnação do desenvolvimento de países emergentes (VIRTUALIA, 2013).

Com a crise, todo o mundo conscientizou-se do quanto os países eram frágeis e dependentes de uma única fonte de progresso e também teve noção de quem eram os verdadeiros donos do petróleo.

Começaram então a surgir indagações sobre a importância do petróleo, qual era a possibilidade de este energético se esgotar, onde mais poderiam existir reservas petrolíferas, quanto seria necessário investir para que os derivados de petróleo fossem substituídos e o que poderia efetivamente substituir esta fonte (VIRTUALIA, 2013).

Frente a este cenário, conclui-se que o petróleo tornou-se uma arma política por excelência, pois forçou a economia mundial ao racionamento e à pesquisa e desenvolvimento de fontes alternativas de energia.

Nesse contexto, desabou o mito de energia fóssil abundante e barata e começam a surgir preocupações ambientais, antes não vistas, como o início do desenvolvimento do conceito de sustentabilidade em esfera econômica, política, social e ambiental. Este conceito começou a ser propagado mundialmente a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano de Estocolmo em 1972, e a partir da crise de 1973 começa a ganhar dimensões importantes, a fim de promover o desenvolvimento com a utilização de recursos naturais de maneira inteligente (PLANETA 21, 2013).

Sendo assim, fez-se necessário mudar a visão crítica ao analisar os cenários energéticos, na tentativa de ponderar sobre panoramas futuros de energia de todos os tipos ao mesmo tempo, aumentando a importância de executar e avaliar um planejamento energético.

Novos tipos de análises começaram a surgir, de forma a entender as relações existentes entre os setores energéticos e demais setores de uma economia. O balanço energético apareceu, então, como uma ferramenta com o intuito de prover informações para organizar e estruturar precisamente o planejamento energético de um país.

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo apresentar o que é o balanço energético, assim como suas utilidades, metodologia utilizada, processo de elaboração e instituições responsáveis por executá-lo, e também salientar e refletir sobre a sua importância dentro do setor energético.

13.2 Definição

O balanço energético é uma estrutura de contabilização, geralmente em formato de matriz, na qual todas as formas de energia relevantes são expressas em uma única unidade, especificando os fluxos de energia gerados desde a sua origem, a sua transformação até o seu consumo final, durante um determinado período de tempo, usualmente de um ano (EPE, 2005).

Ao idealizar um planejamento energético para um estado ou país, o balanço energético surgiria como o ponto de partida para a sua execução, pois é levando em conta o desenvolvimento da base de dados e de sua respectiva análise que se pode identificar as mudanças estruturais ocorridas na demanda e oferta de energia, assim como as possíveis necessidades que o sistema energético venha requerer em sua gestão.

Sobre o uso do balanço energético como instrumento de planejamento, Abreu et al. afirma:

> O Balanço Energético (BE) é um instrumento de subsídio ao planejamento e à gestão energética. É possível vislumbrar, utilizando-se o BE, todos os atores e respectivos papéis, presentes na estrutura produtiva e social do Estado. O BE, ao apresentar a oferta e consumo de todos os energéticos utilizados no Estado, faz emergir, naturalmente, aspectos concorrenciais entre fontes de energia, que são fundamentais nas análises de oportunidades de substituição e conservação energéticas, seja por motivos ambientais, econômicos ou sociais. Ao apresentar a composição da oferta interna e externa de todas as fontes de energia, deixa clara a participação do Estado nas questões ligadas à produção energética, parâmetro indispensável nas negociações de royalties e direitos provenientes de usos de recursos internos ao Estado (2010, p. 115-116).

O objetivo maior do balanço energético é apresentar a contabilidade referente à oferta e consumo de energia, fornecendo menções de consumo energético em diversos setores da sociedade (EPE, 2005).

À vista das estatísticas coletadas no balanço energético, diferentes e inúmeras análises podem ser efetuadas, ou seja, não só para apresentar dados quantitativos ele se torna útil, mas também outras atribuições podem ser dadas a ele, como permitir conhecer a matriz energética de um estado, região ou país, permitir um olhar da dinâmica e das transformações ocorridas na matriz energética, auxiliar na elaboração de cenários e políticas públicas, considerar caminhos alternativos que contribuam para o desenvolvimento de determinada sociedade e também contribuir para que seja empregado o menor custo possível pelos usuários do sistema energético (180 GRAUS, 2009).

Portanto, realizar um balanço energético, computando os dados de forma precisa, com informações coerentes, confiáveis e devidamente estruturados entre as disponibilidades energéticas e seus respectivos usos é de fundamental importância, para concretizar um planejamento energético, permitindo diversas ações, a fim de beneficiar a sociedade, minimizando desperdícios e impactos ambientais e promovendo o desenvolvimento de tecnologias visando à eficiência energética.

13.3 Princípios e Métodos Dos Balanços Energéticos

O balanço energético proporciona um embasamento estruturado estatisticamente sobre energia e torna-se uma ferramenta indispensável ao planejamento energético, pois aponta o desempenho e a dinâmica dos fluxos de energia, configurando uma base para estudos, gerenciamento e avaliação das condições futuras do meio energético (EPE, 2005).

Neste sentido, a consistência das informações, a metodologia, a maneira de ser estruturado, assegurando que todas as formas de energia sejam contabilizadas dentro do balanço, são os pontos chave para que seja efetiva a sua atuação.

É importante ressaltar que o conjunto de ações e medidas que podem ser tomados a partir do estudo do balanço energético tem como resultado final o atendimento às necessidades e serviços demandados pela sociedade, assim como o seu devido desenvolvimento (ABREU *ET AL.*, 2010).

Sobre a importância dos resultados do balanço energético, Pederneiras destaca:

> Serviços básicos como iluminação, cocção de alimentos e aquecimento são exemplos da importância de um fluxo confiável e seguro de recursos energéticos. Todos os setores da sociedade demandam serviços de energia, e são beneficiados com o consequente desenvolvimento econômico e social permitido pelo aumento da produtividade e renda (2007, p. 16).

Assim sendo, para a elaboração do balanço energético, padrões estabelecidos por instituições como a Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*), especializada no assunto, devem ser seguidos, a fim de nortear a realização do trabalho (PEDERNEIRAS, 2007).

A seguir, apresentam-se as principais bases que devem ser metodologicamente adequadas, durante a preparação do balanço energético.

13.3.1 Unidades

Geralmente, os múltiplos energéticos existentes são quantificados em suas unidades naturais ou comerciais, ponderando a condição física em que o energético se encontra, no intuito de facilitar o procedimento de medição.

Há uma enorme lista de unidades nas quais se podem classificar os energéticos, podendo ser de massa, volume ou energia. Por exemplo, a energia elétrica é medida em kWh; já a gasolina, é quantificada em litros.

Essa variedade de unidades, porém, não permite que seja realizada uma comparação direta entre os diferentes tipos de energéticos contabilizados. Já que a pretensão dos balanços energéticos é exibir, em apenas uma matriz, os fluxos de distintas formas de energia, faz-se necessário, portanto, a adoção de uma única medida, uma unidade comum para as diferentes fontes, de maneira que facilite o uso e apresentação do balanço energético. (PEDERNEIRAS, 2007).

Para a escolha desta unidade em comum devem-se observar motivos, como a harmonia com o Sistema Internacional de Unidades, a expressão da realidade física que representa e a relação com o energético mais importante do momento (PEDERNEIRAS, 2007).

Conforme apontam os estudos, quando se começou a realizar os balanços energéticos, o carvão mineral era o principal energético do momento e a unidade comum adotada era referenciada nele, usando-se a tonelada equivalente de carvão. Como nos dias atuais o petróleo é o energético de maior representatividade, a unidade padronizada para os balanços é a tonelada equivalente de petróleo (tep) (PEDERNEIRAS, 2007).

Uma questão fundamental a ser observada é considerar o poder calorifico do energético, no caso, o petróleo, no instante de converter a unidade natural do energético para a unidade padrão. Atualmente é adotado um valor de 10.000 kcal/kg para o poder calorífico do petróleo bruto (PEDERNEIRAS, 2007).

Há também de se atentar para a quantidade de algarismos utilizados, para que não se cometam discrepâncias; usando poucos dígitos, corre-se o risco de erros muito significativos; usando muitos dígitos, pode-se confundir e dificultar a apresentação dos dados (PEDERNEIRAS, 2007).

13.3.2 Fatores De Conversão De Unidades Para Consolidação Do Balanço Energético

A apuração das diversas formas de energia, com suas diferentes unidades naturais ou comerciais e sua concretização dentro de um balanço energético, se dá por meio do emprego de fatores de conversão, os quais consideram o conteúdo energético de cada fonte, tomando como referência a capacidade do combustível liberar calor, quando entra em combustão.

Quando se deseja a conversão das unidades de cada fonte energética para a unidade padrão, ou seja, a tonelada equivalente de petróleo (tep) deve-se calcular os fatores de conversão pela relação entre os poderes caloríficos de cada fonte e o poder calorifico do petróleo adotado como referência. Logo, as unidades comerciais de cada energético são convertidas em tep, quando multiplicadas por estes fatores de conversão (EPE, 2005).

No processo de elaboração do balanço energético, adotar uma referência para o petróleo significa a adoção também do valor do poder calorífico inferior deste energético e, por conseguinte, a adoção do valor da tep (tonelada equivalente de petróleo) como fonte de referência para todas as formas de energia, permitindo a consolidação das fontes (EPE, 2005).

13.3.3 Poder Calorífico

Os combustíveis que geram água (H_2O) como produto da combustão têm definidos seus poderes caloríficos superior e inferior (EPE, 2005).

Poder calorífico é definido como a quantidade de energia interna contida em um combustível, ou, em outras palavras, é a quantidade de calor liberada durante a combustão de um energético (MUNDO EDUCAÇÃO, 2013).

Poder calorífico superior pode ser traduzido pela quantidade total de calor liberado na combustão, até que os produtos da combustão estejam resfriados e a água originada se condense. (PEDERNEIRAS, 2007).

Poder calorífico inferior é a quantidade de calor liberada não considerando o calor latente de vaporização da água, que é incluído no poder calorífico superior; sendo assim, é a quantidade de calor realmente aproveitada do energético (PEDERNEIRAS, 2007).

Portanto, na execução dos balanços energéticos, somente o poder calorífico inferior é utilizado nas conversões, pois, na prática, apenas o seu uso é que se consegue contabilizar, por se apresentar mais próximo da realidade (PEDERNEIRAS, 2007).

13.3.4 Qualidade e Disponibilidade De Dados

A disponibilidade de dados estatisticamente detalhados e confiáveis das fontes energéticas é fundamental para a preparação de qualquer tipo de balanço energético. Muitas vezes a disponibilidade dos dados é um fator externo que limita a sua elaboração.

Em muitos casos, duas bases de dados de uma mesma fonte energética podem ser muito precisas, mas ao mesmo tempo, pouco compatíveis. Então, é de extrema importância que os dados presentes nos balanços energéticos se-

jam condizentes com a realidade econômica do país, estado ou região, a fim de que não haja erros grosseiros, discrepantes com a realidade.

A falta de dados energéticos disponíveis poderá vir a influenciar decisivamente a elaboração do balanço, pois pode impedir a sua execução de forma mais adequada ao planejamento energético.

A carência da base de dados é o que gera a dificuldade de aquisição das informações energéticas necessárias à realização do balanço energético. Desta forma, torna-se importante o uso de estimativas e aproximações, conforme a predisposição do desempenho de elementos do sistema energético ou a partir das referências implícitas nas atividades de consumo, para que se possam estabelecer determinados dados que não se encontram disponíveis (EPE, 2005).

Ao trabalhar com essas aproximações e estimativas, faz-se necessário que estes artifícios utilizados sejam mencionados nas publicações dos balanços energéticos, de maneira que os seus muitos usuários possam fazer sua própria avaliação das técnicas e métodos empregados e da credibilidade das informações (EPE, 2005).

Tem-se de considerar também que, o fato de não existir um sistema interligado de informações sobre as diversas formas de energia, limita ainda mais a disponibilidade dos dados para a construção do balanço energético (EPE, 2005).

Portanto, esta é uma questão que deve ser trabalhada constantemente e com determinação, para que sejam amenizadas as carências e os estudos energéticos sejam cada vez mais aperfeiçoados e menos complexos.

13.3.5 Estrutura Fundamental

Um balanço energético retrata o fluxo de energia dos diferentes energéticos que compõem um sistema energético. Para que a descrição desse fluxo possa ser apresentada de forma coesa, considerando a diversidade de fontes energéticas existentes, é necessário que sejam instituídos pontos de averiguação ao longo da cadeia energética, observando desde a extração da fonte até o seu consumo final (EPE, 2005).

A técnica de composição de um balanço energético estabelece quatro etapas fundamentais nas quais são contabilizadas os fluxos ao longo da cadeia energética. São elas: energia primária, transformação, energia secundária e consumo final (EPE, 2005).

A energia primária abrange os processos de produção, importação e exportação de fontes primárias e compreende também as variações de estoques, não aproveitamentos e reinjeção e perdas ocorridas. É caracterizada pelos produtos vindos da natureza na sua forma original, podendo ser de três origens: fóssil (petróleo, carvão mineral, gás natural), renovável (energia eólica, energia solar, energia hidráulica) e nuclear (urânio – U_3O_8), conforme exemplificado na Figura 13.1 (BEN, 2013).

Figura 13.1 – Exemplos de fontes primárias de energia

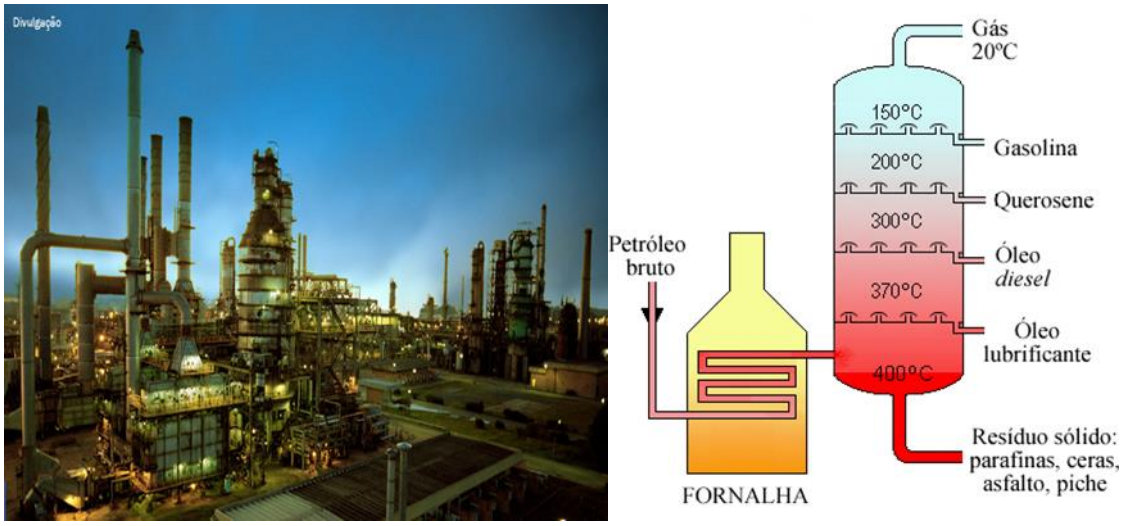
A energia secundária compõe-se por todos os fluxos de fontes secundárias de energia, produtos energéticos obtidos em processamento nos diferentes centros de transformação, além das importações, exportações, perdas e não aproveitamentos. São considerados como fontes secundárias de energia o óleo diesel, óleo combustível, gasolina, GLP, nafta petroquímica, querosene, gás natural, coque de carvão mineral, eletricidade, carvão vegetal, etanol, entre muitos outros, como pode se observar na Figura 13.2 a seguir (EPE, 2005).

Figura 13.2 – Exemplos de fontes secundárias de energia

A etapa de transformação compreende os fluxos em que fontes primárias de energia são transformadas em fontes secundárias de energia, e também fontes secundárias de energia são transformadas em outras novas fontes secundárias de energia. A transformação abrange os centros de transformação onde toda a energia que entra, seja ela primária ou secundária, é convertida em uma ou mais formas de energia secundária, com suas respectivas parcelas de perdas de transformação e variações de estoques (BEN, 2013).

Os centros de transformação são as refinarias de petróleo (conforme Figura 13.3 a e b), plantas de gás natural, usinas de gaseificação, coquerias, ciclos de combustível nuclear, centrais elétricas de serviço público e autoprodutoras, carvoarias e destilarias, entre outras (EPE, 2005).

Figura 13.3 (a) e (b) – Refinaria de petróleo (a) e esquema de funcionamento de uma refinaria (b)



Por fim, o consumo final abrange todos os fluxos de energia, primária e secundária que estão disponíveis para serem consumidos pelos diferentes setores da economia de um país, estado ou região, de forma a atender todas as necessidades das diferentes atividades, representando o consumo final de energia (BEN, 2013).

É importante também considerar, ao realizar um balanço energético, o cálculo da oferta que resume as operações, induzindo à quantidade de energia disponível para a sociedade consumir ou transformar com estas operações: produção (+), importação (+), variação de estoques (+/-), exportação (-), não-aproveitada (-) e reinjeção (-), sendo que as operações com sinal positivo agregam energia ao fluxo e as com sinal negativo retiram a energia do fluxo (BEN, 2013).

A linha que sintetiza o saldo dessas operações é denominada como a Oferta Interna Bruta de Energia, disponível para ser transformada e consumida diretamente por determinado país, estado ou região, definindo, assim, a participação dos variados recursos energéticos na matriz energética (LUZ, 2011).

A seguir, são definidas as principais atividades que estão envolvidas nas operações para obtenção da Oferta Interna Bruta de Energia (EPE, 2005; BEN, 2013).

- Produção é a quantidade de energia primária obtida a partir das fontes fósseis, renováveis e nuclear. Ressaltando que a matriz referente à produção de energia secundária fica sem qualquer tipo de informação, pois, considerando que toda forma de energia secundária é derivada de alguma transformação, esta é descrita somente na matriz de transformação do balanço energético.

- Importação é definida como a quantidade de energia primária e secundária que entra no país, vinda do exterior.

- A variação nos estoques nada mais é do que a diferença entre o estoque inicial e o final de cada ano. Se ocorrer um aumento no estoque, representado com um sinal negativo no balanço, ocorrerá diminuição na oferta interna de energia. Logo, se houver uma redução nos números de estoque, representado com um sinal positivo, um aumento na oferta interna de energia acontecerá.

- A oferta total baseia-se no cálculo do somatório das atividades de produção, importação e a quantidade de variação que ocorreu nos estoques durante determinado período.

- A exportação é definida como a quantidade de energia primária e secundária expedida para o exterior, o que diminui a oferta interna de energia.

- Energia não aproveitada se caracteriza como a quantidade de energia que por algum motivo, técnico ou econômico, não vem a ser utilizada de forma alguma.

- A reinjeção de energia é caracterizada pelo gás natural que é reinjetado de volta ao processo.

- As perdas ocorrem durante as atividades de produção, transporte, distribuição e armazenamento de energia.

- Consumo Final Não Energético é a quantidade de energia contida em produtos que são utilizados em diferentes setores para fins Não Energéticos.

- Consumo Final Energético é aquele contabilizado como o consumo final dos setores energético, residencial, comercial, público, agropecuário, transportes, industrial e consumo não identificado, que é aquele correspondente ao consumo que, pela natureza da informação, não pode ser classificado em nenhum dos setores descritos anteriormente.

Enfim, essa linha de operações é uma das mais importantes do balanço energético, juntamente com as operações de total de energia transformada e consumo total de energia (LUZ, 2011).

Visualmente, o balanço energético é confeccionado em uma estrutura matricial, de linhas e colunas, representando os fluxos de energia contabilizados entre as interações de cada setor de oferta e consumo com as fontes energéticas incluídas no estudo (PEDERNEIRAS, 2007).

As linhas do balanço energético registram as operações, as atividades às quais os recursos energéticos foram ou serão destinados. Estas operações relatam a transição dos fluxos de energia, a ocorrência na variação de estoques e também o ciclo de etapas que ocorrem com os recursos desde a sua origem até a o seu destino final (EPE, 2005).

As colunas indicam todas as fontes e formas de recursos energéticos utilizados, variando em função do tipo de balanço e das informações que se aspira conseguir para o determinado estudo (EPE, 2005).

Segundo Bicalho (1986), citado por Luz (2011), a escolha dos energéticos e dos setores de atividades econômicas deve resultar de uma decisão entre a disponibilidade de informações e a utilidade delas ao público para o qual será direcionado o balanço energético. A composição das linhas e das colunas, a definição das operações, a busca do equilíbrio entre a clareza e a forma coesa e prática de representação do quadro contábil, entre a abundância de informações e a legibilidade de um balanço, são questões vivas e permanentes na discussão sobre a sua edificação e as saídas tomadas irão definir os limites dos saberes que poderão ser extraídos dessa ferramenta de planejamento e análise.

É importante destacar que a estrutura básica da matriz do balanço energético sofre modificações conforme ocorrem as mudanças no cenário econômico e energético. Nos tempos atuais, vemos crescente a presença e o uso das fontes alternativas de energia, conquistando espaço na pesquisa, desenvolvimento de tecnologias e no mercado financeiro. Logo, ao contabilizar o uso de novas fontes, as matrizes dos balanços energéticos também devem ser

adaptadas para tal, o que mostra que esta não é uma ferramenta estática e que é vital para alcançar o objetivo a que se propõe estar em constante transformação e desenvolvimento.

13.4 Balanço Energético Nacional

O Balanço Energético Nacional (BEN) existe há quase quatro décadas publicando a contabilidade referente à oferta e consumo de energia no Brasil, detalhando a energia de maneira primária e secundária, esboçando as atividades de produção, estoques, exportação, importação, transformação, distribuição e consumo nos setores econômicos (EPE, 2005).

Sendo o mais tradicional documento do setor energético brasileiro, o BEN é de suma importância para as atividades de planejamento do sistema energético nacional, pois reúne através de séries históricas as mais diversas operações de fluxos de energia no País, assim como, dados de reservas e capacidades instaladas (EPE, 2011).

Assim sendo, conhecer sua origem, maneira de elaboração, metodologia e benefícios de seu resultado torna-se bastante significativo para que a história energética do Brasil seja entendida.

13.4.1 Histórico Do Balanço Energético Nacional

Desde quando os países começaram a tornar-se industrializados, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, conversas e algumas ações já existiam no sentido de cada nação organizar as suas próprias estatísticas energéticas.

Porém, o Balanço Energético somente passou a ter seu papel ampliado a partir da década de 1970, com a crise do petróleo, quando o mundo passou a repensar seu sistema energético, indicando a necessidade de implantação de ferramentas que auxiliassem na gestão e acompanhamento dos diversos recursos energéticos disponíveis (PEDERNEIRAS, 2013).

No Brasil, um país em desenvolvimento, a crise do petróleo de 1973 trouxe impactos evidentes, como a queda no Produto Interno Bruto (PIB), barrando altos índices de crescimento obtidos com o período de "Milagre Econômico" durante a ditadura militar brasileira, de modo que o aumento da dívida brasileira tornou-se inevitável (VIRTUALIA, 2013).

Com a consciência alerta para dar fortalecimento ao sistema de investigação de dados sistemáticos e conferências de informações energéticas, em 1975, o Ministério de Minas e Energia (MME), começou a desenvolver esforços no intuito de concretizar algo que fosse um instrumento, um auxiliador, que consolidasse estatisticamente as informações referentes aos recursos energéticos do país (EPE, 2005).

Essa preocupação resultou no ano de 1976 na criação do BEN. Esse primeiro Balanço Energético registrou o consumo energético de todo o país durante os dez anos anteriores e também projetou tal consumo para os dez anos consequentes (EPE, 2005).

O Balanço Energético de 1976 e até o ano de 1978 foi elaborado perante a coordenação da Secretaria Geral do Ministério de Minas e Energia e realizado por equipes de trabalho constituídas pelos mais variados representantes das muitas entidades vinculadas ao MME e, logo após a elaboração do Balanço, estas equipes se desfaziam (EPE, 2005).

Em 1978 foi criado o COBEN (Comitê Coordenador do Balanço Energético Nacional). Este comitê passou a ter regime de trabalho permanente e era o responsável pela execução do BEN (BAJAY *ET AL.*, 1992).

A partir daí, começaram a acontecer estudos direcionados pela OLADE (Organização Latino-americana de Desenvolvimento de Energia) juntamente com os países membros, a fim de confeccionar um modelo unificado de Balanço Energético para tais países, seguindo uma metodologia internacional, com as adaptações necessárias conforme as características de cada país (EPE, 2005).

A partir do ano de 1982, diante da necessidade de estabelecer um acompanhamento do comportamento energético em cada estado da Federação e reconhecer seus respectivos recursos energéticos, foi realizada pela Secretaria Geral do Ministério de Minas e Energia a formação de equipes de trabalho que prestassem apoio técnico, para promover a elaboração dos balanços energéticos estaduais (EPE, 2005).

Entre os anos de 1980 e 1992, ainda elaborados pelo COBEN, as informações obtidas para o BEN eram formatadas pelos chamados agentes fornecedores: Petrobras, Eletrobrás, sendo que a Eletrobrás era quem realizava a coleta de dados dos autoprodutores. De 1993 a 1998, esses agentes fornecedores não mais editavam os dados coletados e as atividades de elaboração do BEN começaram a migrar cada vez mais para o Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético, órgão vinculado à Secretaria Geral do Ministério de Minas e Energia (EPE, 2005).

Durante as décadas de 1980 e 1990, o BEN continuou sendo elaborado sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia, com a participação dos chamados agentes fornecedores como a Petrobrás e a Eletrobrás. No ano de 2003, o BEN publicado adotou ainda mais critérios semelhantes e aderentes aos dos balanços propostos pela Agência Internacional de Energia (IEA), Organização Latino-americana de Energia (OLADE) e Departamento de Energia dos Estados Unidos (EPE, 2005).

Porém, com o passar dos anos, depois dos episódios de racionamento e o apagão de 2001 ocorridos no País e a carência de um planejamento efetivo no segmento energético, foi criada em 2004, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, constituída como uma entidade independente (EPE, 2005).

O objetivo ao criar a EPE foi direcionar a prestação de serviços no campo de estudos e pesquisas para auxiliar no planejamento do setor energético (EPE, 2004).

Instituída sob os termos da Lei nº 10.847 de 15 de março de 2004 e do Decreto nº 5.184 de 16 de agosto de 2004, seu artigo 2º relata:

> Art. 2º A Empresa de Pesquisa Energética - EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras. (BRASIL, Lei nº 10.847 de 15 de março de 2004).

Desde então o Balanço Energético Nacional vem sendo realizados pela EPE, direcionando os estudos e pesquisas e norteando o planejamento energético do País.

13.4.2 Cronologia de Execução do BEN

O Balanço Energético Nacional é executado de acordo com a ordem das seguintes atividades (EPE, 2005):

- Etapa 1 - Na primeira fase dos trabalhos de execução do BEN, ocorre o gerenciamento da coleta de dados durante os meses de janeiro a março do ano corrente com o envio de cartas e e-mails solicitando dados impressos ou digitais para os agentes de produção, transformação e distribuição de energia. Ocorre também a solicitação para os autoprodutores de energia para que preencham determinados formulários pré-desenhados na internet;

- Etapa 2 – Nos meses de abril e maio, é feita a análise dos dados recebidos, na qual estes são avaliados através de comparações feitas com os balanços dos anos anteriores e de acordo com a experiência do analista. Após avaliação, dá-se início ao processo de formatação dos dados para inseri-los nas planilhas do balanço energético;

- Etapa 3 – Em junho e julho, após a consolidação dos dados da matriz energética, é realizada a análise de comportamento de cada energético e de cada setor de atividade econômica. Nessa etapa também são preparados os textos descritivos e explicativos do balanço, assim como, sua respectiva edição para impressão;

- Etapa 4 – De agosto a setembro inicia-se a liberação parcial do documento na internet e a impressão final do balanço energético é publicada;

- Etapa 5 – Nesta última fase, durante os meses de outubro a dezembro, acontecem as atividades de distribuição e troca de informações, integração dos dados e da relação com os respectivos agentes fornecedores e também consolidação da metodologia usada com a atualização e manutenção do cadastro dos usuários e aplicativos utilizados.

13.4.3 Estrutura Geral Do BEN

O Balanço Energético Nacional, assim como os outros, estadual ou mundial, descreve os fluxos de energia das diversas cadeias de energéticos que compõem o sistema energético nacional.

A contabilização da matriz do BEN, portanto, representa o balanço das diversas fases que compõem a cadeia energética: produção, transformação, energia secundária e consumo, conforme a Figura 13.4 e a conceituação apresentada anteriormente no presente estudo (BEN, 2013).

A Tabela 13.1 apresenta-se, para fins de conhecimento, o modelo da matriz do balanço energético nacional.

Figura 13.4 - Cadeia Energética do BEN

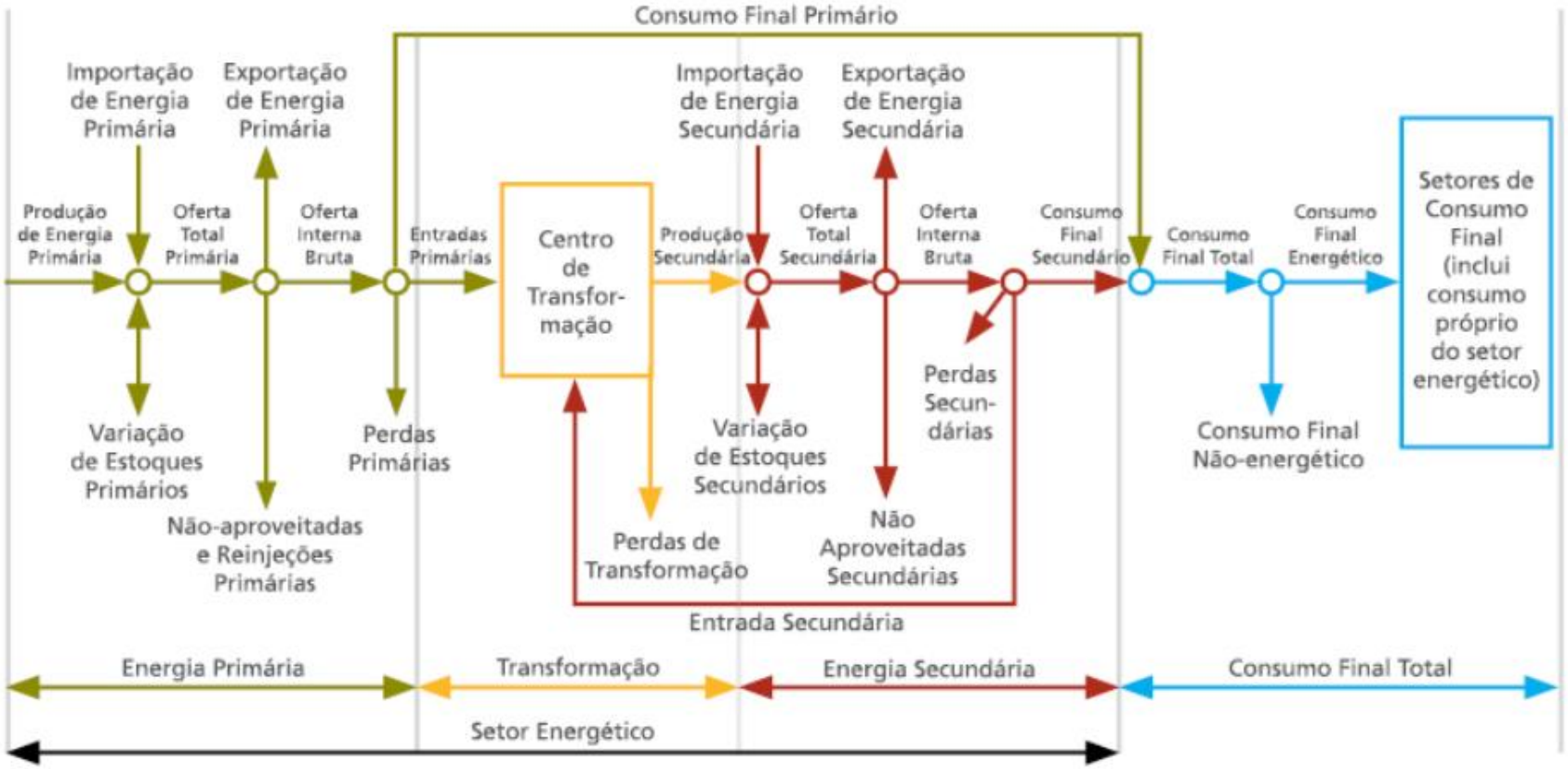


Tabela 13.1 - Matriz do Balanço Energético Nacional

	FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA										FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA															
10³ tep	PETRÓLEO	GÁS NATURAL	CARVÃO VAPOR	CARVÃO METALÚRGICO	URÂNIO U3O8	ENERGIA HIDRÁULICA	LENHA	PRODUTOS DA CANA	OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	ENERGIA PRIMÁRIA TOTAL	ÓLEO DIESEL	ÓLEO COMBUSTÍVEL	GASOLINA	GLP	NAFTA	QUEROSENE	GÁS DE CIDADE E DE COQUERIA	COQUE DE CARVÃO MINERAL	URÂNIO CONTIDO NO UO2	ELETRICIDADE	CARVÃO VEGETAL	ÁLCOOL ETÍLICO ANIDRO E HIDRATADO	OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	PRODUTOS NÃO ENERGÉTICOS DE PETRÓLEO	ALCATRÃO	ENERGIA SECUNDÁRIA TOTAL	TOTAL
PRODUÇÃO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
IMPORTAÇÃO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
VARIAÇÃO DE ESTOQUES	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
OFERTA TOTAL	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
EXPORTAÇÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NÃO-APROVEITADA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
REINJEÇÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OFERTA INTERNA BRUTA	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
TOTAL TRANSFORMAÇÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
REFINARIAS DE PETRÓLEO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
PLANTAS DE GAS NATURAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
USINAS DE GASEIFICAÇÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
COQUERIAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
CENTRAIS ELÉTRICAS DE SERVIÇO PÚBLICO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
CENTRAIS ELÉTRICAS AUTOPRODUTORAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
CARVOARIAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
DESTILARIAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
OUTRAS TRANSFORMAÇÕES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO E ARMAZENAGEM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CONSUMO FINAL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

CONSUMO FINAL NÃO-ENERGÉTICO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
SETOR ENERGÉTICO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RESIDENCIAL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
COMERCIAL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PÚBLICO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
AGROPECUÁRIO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
TRANSPORTES - TOTAL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RODOVIÁRIO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
FERROVIÁRIO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
AÉREO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
HIDROVIÁRIO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
INDUSTRIAL - TOTAL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CIMENTO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
FERRO-GUSA E AÇO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
FERRO-LIGAS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
MINERAÇÃO E PELOTIZ.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
QUÍMICA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ALIMENTOS E BEBIDAS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
TÊXTIL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PAPEL E CELULOSE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CERÂMICA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
OUTROS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CONSUMO NÃO-IDENTIFICADO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
AJUSTES	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2005.

13.4.4 Fontes De Dados

A seguir estão algumas das empresas e/ou entidades que procedem de maneira direta ou indireta como fontes de dados para execução do BEN:

Quadro 13.1 - Fontes de Dados do Balanço Energético Nacional

FONTE ENERGÉTICA	FONTES DE DADOS
Petróleo, Gás Natural e Xisto	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Petróleo Brasileiro S/A (Petrobras), Companhias Distribuidoras de Derivados, Entidades de Classe e Grandes Indústrias.
Carvão Mineral	Sindicato Nacional da Indústria de Extração do Carvão, Grandes Indústrias (CSN, USIMINAS, AÇOMINAS, COSIPA).
Energia Hidrelétrica e Eletricidade	Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Centrais Elétricas Brasileiras S/A (Eletrobrás), Concessionárias de Energia Elétrica, Operador Nacional do Sistema (ONS), Sistema de Informações de Mercado para o Planejamento do Setor Elétrico (SIMPLES / EPE), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), Grandes Indústrias.
Lenha e Carvão Vegetal	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Grandes Indústrias, Mineradoras, Projeto Matriz Energética Brasileira – MEB / MME / IPEA.
Cana de Açúcar, Álcool e Bagaço de Cana	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Entidades de Classe, Indústrias do Setor, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).
Energia Nuclear	Indústrias Nucleares do Brasil (INB), Centrais Elétricas Nucleares do Brasil (Eletronuclear).
Gás de Cidade e Gás de Coqueria	Concessionárias Distribuidoras de Gás Canalizado, Usinas Siderúrgicas.
Autoprodutores	Pesquisas diretas junto às empresas de diversos setores, como petróleo, cimento, siderurgia, ferro-ligas, alumínio, alumina, química, papel e celulose, açúcar e álcool, mineração, alimentos e bebidas e têxtil.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), BEN 2013. Acesso em 19/08/2013.

Outras instituições como a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA), Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC), Sindicato Nacional da Indústria dos Produtores de Ferro – Ligas (ABRAFE), Instituto Aço Brasil (IBS), Associação Brasileira de Fundição (ABIFA), Sindicato Nacional da Indústria e Extração de Estanho (SNIEE), Associação Brasileira de Alumínio (ABAL), Sindicato da Indústria de Ferro no Estado de Minas Gerais (SINDIFER), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Fundação Getúlio Vargas (FGV) também são importantes fornecedoras de dados para a produção do BEN (BEN, 2013).

13.4.5 Tratamento Da Eletricidade No Balanço Energético Nacional

Os exemplares do Balanço Energético Nacional publicados até o ano de 2001, para o cálculo em tonelada equivalente de petróleo (tep) referente aos montantes de eletricidade de origem hidráulica adotavam como parâmetro os fundamentos da base térmica, onde 1kWh = 3132 kcal. Dessa forma, o fator de conversão de 0,29 tep/MWh

(3132/10800 kcal/kg do petróleo) alçava a energia hidráulica a parâmetros análogos aos países de geração térmica (BEN, 2013).

Na publicação de 2002, os critérios usados para este cálculo foram modificados para a base teórica de conversão para energia hidráulica, onde 1 kWh = 860 kcal. Porém, permaneceu o petróleo de referência de 10800 kcal/kg e o uso do poder calorífico superior para as fontes de energia (BEN, 2013).

Nas edições a partir de 2003, estes critérios de conversões para eletricidade continuaram na base teórica (1 kWh = 860 kcal); no entanto, o petróleo de referência passou a ser 10000 kcal/kg e o poder calorífico inferior passou a ser adotado para as demais fontes de energia (BEN, 2013).

Estes novos critérios estão mais próximos dos critérios internacionais, especialmente com os da Agência Internacional de Energia, Conselho Mundial de Energia, Organização Latino-americana de Energia e Departamento de Energia dos Estados Unidos e a comparação entre os dados do BEN e de outros países destas organizações passou a ser direta (BEN, 2013).

13.4.6 Nível De Agregação Das Fontes Energéticas

O completo balanço de energia, contemplando as etapas de oferta, transformação e consumo final das fontes energéticas, é apresentado no BEN por meio de matrizes de dados energéticos.

Existem dois tipos de matrizes de dados energéticos: uma de dimensão 49x47 que relaciona todas as quarenta e nove fontes de energia contempladas pela metodologia de elaboração do balanço; e outro tipo de matriz de dimensão 27 x 47, onde algumas fontes de energia são agregadas umas as outras de forma a facilitar a visualização das fontes (PEDERNEIRAS, 2007).

A matriz de dados desagregados (49x47), apesar de não ser publicada, permite um melhor entendimento do fluxo de energia ao longo das cadeias de energéticos, além de detalhar todas as fontes consideradas na metodologia (PEDERNEIRAS, 2007).

Já a matriz de dados agregados (27x47) é mais adequada para a realização de análises de dados, onde a caracterização detalhada das fontes não é a finalidade principal, mas sim os valores totais de energia para determinadas cadeias de energéticos (PEDERNEIRAS, 2007).

A tabela apresentada a seguir faz uma correspondência entre as fontes de energia da matriz de dados de dimensão 49x47 e as fontes que são agregadas para a elaboração da matriz de dados agregados 27x47 (PEDERNEIRAS, 2007).

Quadro 13.2 - Correspondências entre os dois tipos de matrizes de dados

FONTES PRIMÁRIAS DE ENERGIA	
MATRIZ DESAGREGADA (49x47)	**MATRIZ AGREGADA (27x47)**
Petróleo	Petróleo
Gás Natural Úmido	Gás Natural
Gás Natural Seco	
Carvão Vapor 3100	Carvão Vapor

Carvão Vapor 3300	
Carvão Vapor 3700	
Carvão Vapor 4200	
Carvão Vapor 4500	
Carvão Vapor 4700	
Carvão Vapor 5200	
Carvão Vapor 5900	
Carvão Vapor 6000	
Carvão Vapor sem especificação	
Carvão Metalúrgico Nacional	Carvão Metalúrgico
Carvão Metalúrgico Importado	
Urânio (U_3O_8)	Urânio (U_3O_8)
Energia Hidráulica	Energia Hidráulica
Lenha	Lenha
Caldo de Cana	Produtos da Cana
Melaço	
Bagaço de Cana	
Lixívia	Outras Fontes Primárias
Outras Renováveis	
Outras Não Renováveis	
FONTES SECUNDÁRIAS DE ENERGIA	
MATRIZ DESAGREGADA (49x47)	**MATRIZ AGREGADA (27x47)**
Óleo Diesel	Óleo Diesel
Óleo Combustível	Óleo Combustível
Gasolina Automotiva	Gasolina
Gasolina de Aviação	
GLP	GLP
Nafta	Nafta
Querosene iluminante	Querosene
Querosene de aviação	
Gás de Coqueria	Gás de Cidade e de Coqueria
Gás Canalizado RJ	
Gás Canalizado SP	
Coque de Carvão Mineral	Coque de Carvão Mineral

Urânio contido no OU2	Urânio contido no OU_2
Eletricidade	Eletricidade
Carvão Vegetal	Carvão Vegetal
Álcool Anidro Álcool Hidratado	Álcool Etílico Anidro e Hidratado
Gás de Refinaria	Outras Secundárias de Petróleo
Coque de Petróleo	
Outros Energéticos do Petróleo	
Alcatrão	Alcatrão
Asfalto	Produtos Não Energéticos do Petróleo
Lubrificantes	
Solventes	
Outros Não Energéticos do Petróleo	

Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2005.

13.4.7 Diagnóstico Da Metodologia Utilizada No Balanço Energético Nacional

13.4.7.1 Oferta De Energia

13.4.7.1.1 Produção Doméstica De Energia

- Calor e Eletricidade

Como já analisado anteriormente a conversão da oferta de base hidrelétrica pelo equivalente térmico fundamentava-se no fato de os primeiros consolidados de balanços energéticos no país se basearem na literatura internacional que indicava para a energia hidráulica o uso de um fator de equivalência térmica, o que tornava equiparáveis as ofertas de energia de países com alta e baixa participação de geração hidráulica (PEDERNEIRAS, 2007).

Entretanto, para a oferta de base termelétrica e a demanda de eletricidade, nos balanços internacionais era utilizado o critério teórico de 0,086 tep/MWh. Tal método de contabilização resultava em perdas (fictícias) elevadas nos balanços consolidados para a transformação de energia hidráulica em energia elétrica, comprometendo o cálculo do rendimento para essa fonte (PEDERNEIRAS, 2007).

Por esse motivo, o BEN seguia o mesmo critério de equivalente térmico para a oferta e demanda de eletricidade. Ainda assim, a metodologia adotada pelo BEN levava a um sobredimensionamento da participação da eletricidade no consumo final de energia. E também indicava imprecisões ao analisar a eficiência da transformação de energia primária em energia secundária, na medida em que normalizava toda a oferta de eletricidade segundo uma termelétrica de eficiência relativamente baixa (típica das plantas a óleo combustível), mas baixa para as termelétricas em ciclo combinado a gás natural, os geradores a diesel, as novas termelétricas a carvão (com queima em elevadas condições de pressão e temperatura) e a hidrelétricas (PEDERNEIRAS, 2007).

Porém, a partir de 2001, acompanhando a tendência das principais agências e organizações responsáveis pela elaboração de balanços energéticos internacionais, o BEN passou a adotar o critério teórico de conversão para energia hidráulica, ou seja, 0,086 tep/MWh. Entretanto, continua-se a aplicar o critério de equivalência térmica para a energia nuclear, solar, eólica e geotérmica (PEDERNEIRAS, 2007).

- Petróleo e Derivados

A fase de produção corresponde à energia primária que se obtém a partir da extração do petróleo bruto, dentro da fronteira nacional, o que abrange a produção *offshore*. Não são incluídos na produção os líquidos de gás natural. A produção envolve somente a quantidade comercializável, excluindo-se os volumes reinjetados na formação, que são contabilizados na linha "reinjeção". Cabe ressaltar que o óleo de xisto também é contabilizado na produção de petróleo (PEDERNEIRAS, 2007).

É importante notar que, diferente do BEN que considera somente o petróleo bruto no setor de oferta, a IEA e a Eurostat contabilizam os líquidos de gás natural, aditivos, oxigenados e outros hidrocarbonetos juntamente com o óleo cru, no setor de oferta de petróleo (PEDERNEIRAS, 2007).

Vale notar, portanto, que as Unidades de Processamento de Gás Natural não são incluídas entre os centros de transformação da IEA e Eurostat, sendo estas consideradas o que de fato são: centros de separação físico-química somente (PEDERNEIRAS, 2007).

- Gás Natural

A produção de gás natural consiste na produção de gás natural úmido. Inclui também a quantidade de gás que é reinjetada no poço ou queimada no próprio campo. A produção, desconsiderando as parcelas reinjetadas e queimadas acrescida da importação resulta na oferta interna desse energético (PEDERNEIRAS, 2007).

- Carvão Mineral

No Brasil, o carvão só é economicamente lavrável nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Santa Catarina, sendo que somente nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul é que existe carvão possível para coqueificação (PEDERNEIRAS, 2007).

A produção brasileira de carvão metalúrgico é bastante reduzida, sendo caracterizada por um carvão pobre, de baixo conteúdo energético, permitindo algum beneficiamento e um transporte à curta distância apenas (PEDERNEIRAS, 2007).

Da mesma forma que o carvão metalúrgico, devido à elevada parcela de material inerte (argilitos e outros), ao alto teor de cinzas (de 20% a 54%) e às múltiplas variações de teores de enxofre, o carvão vapor brasileiro é caracterizado por um conteúdo energético baixo, acolhendo um beneficiamento limitado e que não permite transporte a longas distâncias (PEDERNEIRAS, 2007).

Dessa forma, a produção de carvão energético é voltada apenas para o consumo do parque termelétrico já instalado e de indústrias petroquímicas e de celulose praticamente em boca de mina (PEDERNEIRAS, 2007).

Finalmente, devido à relativa concentração da produção de carvão mineral nacional, são realizadas análises da composição química dos carvões em algumas usinas de beneficiamento, na Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC) e no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) (PEDERNEIRAS, 2007).

Baseada nessas análises a metodologia do BEN identifica 10 tipos de carvão vapor, de acordo com seus poderes caloríficos, e dois tipos de carvão metalúrgico, o nacional e o importado (PEDERNEIRAS, 2007).

Os poderes caloríficos adotados para o carvão metalúrgico nacional e importado são fornecidos pela Companhia Siderúrgica Nacional (PEDERNEIRAS, 2007).

A tabela a seguir apresenta a classificação dos tipos de carvão e seus respectivos poderes caloríficos, obtidos a partir desses centros de pesquisa e utilizados na conversão para a unidade comum (tep) nos balanços energéticos.

Quadro 13.3 – Tipos de carvão mineral e poderes caloríficos

Classificação no BEN	**Poder Calorífico (kcal/kg)**
Carvão Vapor 3100	2950
Carvão Vapor 3300	3100
Carvão Vapor 3700	3500
Carvão Vapor 4200	4000
Carvão Vapor 4500	4250
Carvão Vapor 4700	4450
Carvão Vapor 5200	4900
Carvão Vapor 5900	5600
Carvão Vapor 6000	5700
Carvão Vapor sem especificação	2850
Carvão metalúrgico nacional	6420
Carvão metalúrgico importado	7400

Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2005.

- Renováveis e Resíduos

Seguindo o mesmo raciocínio dos balanços da IEA e da Eurostat, é possível qualificar as fontes renováveis e os resíduos apresentados no BEN em dois grandes grupos (PEDERNEIRAS, 2007):

- Grupo I: Diz respeito às fontes que necessitam ser transformadas para oferta de energia primária. São elas, a energia hidráulica, fotovoltaica, solar térmica, ondas e marés. No BEN, somente a energia hidráulica é considerada.

Figura 13.5 – Energia hidráulica: fonte que necessita ser transformada para oferta de energia primária

- Grupo II: São as fontes que possuem usos múltiplos no setor de transformação e consumo final e que, devido a sua natureza, podem ser estocadas de maneira convencional. No BEN, corresponde ao carvão vegetal, a lenha e aos produtos da cana.

Figura 6 – Lenha: fonte que possui múltiplos usos no setor de transformação e consumo final

Para a lenha e o carvão vegetal são utilizadas informações fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como, por exemplo, o documento "Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura - PEVS" e a PIA – Pesquisa Industrial Anual, por grandes indústrias relacionadas a estes energéticos e pelo Projeto Matriz Energética Brasileira, elaborado pelo MME/IPEA (PEDERNEIRAS, 2007).

Os dados referentes à cana-de-açúcar, álcool e bagaço de cana são fornecidos pelo Departamento do Álcool e do Açúcar (Ministério da Agricultura) e pelas Entidades de Classe e Indústrias do Setor (PEDERNEIRAS, 2007).

Os produtos da cana-de-açúcar são obtidos a partir da cana esmagada para produção de álcool e açúcar. Assim, também são considerados como produtos primários: caldo de cana, melaço, bagaço, pontas e folhas, e os produtos secundários são o álcool anidro e o hidratado (PEDERNEIRAS, 2007).

De cada tonelada de cana esmagada para produção de álcool são obtidos cerca de 730 kg de caldo. Vale notar que a água utilizada na lavagem da cana não é considerada. Quanto ao bagaço, é considerado apenas o de uso energético (PEDERNEIRAS, 2007).

De acordo com a Nota Técnica do COBEN 04/1988 (MME, 1988), a unidade primária da lenha utilizada no BEN é o metro cúbico estéreo (m^3st).

Para a lenha de uso residencial (lenha catada), é adotada a densidade de 300 kg/m^3st, valor médio identificado em pesquisa realizada pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC em localidades do Estado de Minas Gerais. Para a lenha comercial, o BEM utiliza a densidade de 390 kg/m^3st, segundo dados fornecidos pela BRACELPA. O poder calorífico inferior adotado, tanto para a lenha catada quanto para a lenha comercial, é de 3.100 kcal/kg. Para o carvão vegetal, o BEN adota a densidade de 250 kg/ m^3 e o poder calorífico inferior de 6.460 kcal/kg.

13.4.7.1.2 Bunkers

O *bunker* marítimo internacional ou óleo combustível marítimo é contabilizado nas exportações. Para a elaboração do Balanço Energético Nacional a contabilização do *bunker* marítimo internacional é feita de acordo com a nacionalidade do navio, ou seja, o combustível fornecido para navios nacionais é contabilizado como consumo do transporte hidroviário, enquanto que o combustível fornecido a navios estrangeiros é contabilizado como *bunker* marítimo internacional. A metodologia do BEN não estabelece diferenciação entre o tipo de rota (internacional, nacional e costeira) (PEDERNEIRAS, 2007).

De forma similar, a contabilização do *bunker* aéreo internacional é feita com base na nacionalidade da empresa aérea, ou seja, o consumo de querosene de aviação por empresas nacionais é incluído em consumo do transporte aéreo, enquanto que o querosene de aviação consumido por empresas estrangeiras é contabilizado como *bunker* aéreo (PEDERNEIRAS, 2007).

Tomam-se estes métodos em relação ao *bunker*, pois se alega que há muita dificuldade em se definir a divisão em cabotagem e longo curso (múltiplos portos) para navios, e em voo doméstico e voo internacional (múltiplas escalas) para aviões (PEDERNEIRAS, 2007).

Assim, por falta de dados, *bunker*, na metodologia nacional, é todo o combustível fornecido a navios e aeronaves de nacionalidade estrangeira (PEDERNEIRAS, 2007).

Ressalta-se que nos balanços da Agência Internacional de Energia (IEA) e da Eurostat, o *bunker* é apresentado separadamente e se considera o combustível utilizado por todas as embarcações em rotas internacionais, com exceção de navios pesqueiros (PEDERNEIRAS, 2007).

No BEN, somente navios de bandeira estrangeira são considerados e as informações disponíveis referem-se ao fornecimento de óleo diesel e óleo combustível. O querosene de aviação fornecido a aeronaves estrangeiras também é considerado como *bunker* e contabilizado nas exportações (PEDERNEIRAS, 2007).

É interessante notar que, embora a lógica de contabilização do consumo de combustíveis para voos internacionais seja semelhante à de contabilização do consumo de combustível para viagens marítimas internacionais, as organizações internacionais não costumam contabilizá-lo em seus balanços energéticos. Apenas a Divisão de Estatística das Nações Unidas inclui os dois tipos de consumo na sua matriz de oferta de energia (PEDERNEIRAS, 2007).

Constata-se, portanto, que a metodologia do BEN diverge da metodologia internacional por estabelecer como critério de separação a nacionalidade da empresa de transporte. Dessa forma, o consumo de combustível de um navio brasileiro, mesmo que em rota internacional, é contabilizado como consumo do transporte hidroviário (PEDERNEIRAS, 2007).

De acordo com a metodologia IEA e Eurostat, esse consumo seria contabilizado como *bunker* marítimo internacional, caso o navio estivesse em rota internacional. Da mesma forma, o consumo de combustível de empresas aéreas internacionais que operam em território nacional é contabilizado pelo BEN como *bunker* aéreo internacional, divergindo da dos critérios estabelecidos pela IEA, Eurostat e pelo IPCC (PEDERNEIRAS, 2007).

13.4.7.1.3 Variação De Estoques

- Calor e Eletricidade

Apesar de a energia hidráulica ser caracterizada como uma fonte primária estocável, tendo em vista o fato de a água poder ser armazenada em reservatórios de hidrelétricas, o BEN a classifica como não estocável, uma vez que contabiliza somente a quantidade de água turbinada para a geração de eletricidade (assumindo um rendimento de 100%), não levando em conta a parcela da água que permanece estocada nem a parcela correspondente à energia vertida (PEDERNEIRAS, 2007).

A metodologia do BEN é a mesma utilizada pela IEA e Eurostat para a contabilização da energia hidráulica para geração de energia elétrica. A metodologia IEA e Eurostat define um ponto de contabilização estatística das fontes de energia, que deve corresponder ao ponto, na cadeia do energético, onde é factível a utilização direta da fonte no fluxo de energia. No caso da hidroeletricidade, isto significa que o ponto de contabilização estatística corresponde aos terminais dos geradores elétricos, tendo em vista que a energia mecânica contida no fluxo da água dos rios não é utilizada diretamente na cadeia da eletricidade (PEDERNEIRAS, 2007).

Cabe observar, contudo, que há no BEN uma seção que trata dos recursos e reservas energéticas, na qual é apresentado o potencial hidrelétrico, definido como o potencial possível de ser técnica e economicamente aproveitado nas condições atuais de tecnologia, medido em termos de energia firme (o valor médio que uma usina pode gerar durante o período crítico). O potencial hidrelétrico inventariado compreende as usinas em operação ou construção e os aproveitamentos disponíveis estudados nos níveis de inventário, viabilidade e projeto básico. De acordo com o MME, o potencial estimado situa-se em até cerca de 35% abaixo do valor inventariado (PEDERNEIRAS, 2007).

A Olade possui um método de contabilização diferente, que leva em conta o fluxo de água vertido. Este método utiliza uma equação para estimar o balanço de fluxos de água anuais em uma barragem: estoque inicial na represa em janeiro, em dezembro, o fluxo turbinado, o fluxo nos vertedouros, nas comportas, o evaporado e o de infil-

tração. Sendo a mensuração destes fluxos possível, este tratamento revelar-se válido, principalmente no caso de países com grandes participações de energia hidráulica na matriz. Tem-se, assim, uma noção da quantidade de energia hidráulica estocada, o que pode ajudar na formulação de políticas e no planejamento energético do país (PEDERNEIRAS, 2007).

- Petróleo e derivados, Nuclear e Renováveis

Além da manutenção de estoques operacionais de petróleo e derivados, destaca-se a contabilização do urânio em fase de enriquecimento, como estoque de U_3O_8, haja vista que o tempo de processamento dessa transformação é, em média, de 21 meses (PEDERNEIRAS, 2007).

Assim, a cada ano, é eliminada do estoque de U_3O_8, a parcela correspondente à produção de urânio contido no UO_2, acrescida das perdas na transformação, que correspondem a cerca de 1,5% da produção. Também é importante ressaltar a importância do registro da variação dos estoques de produtores de álcool etílico, cuja finalidade consiste em compensar oscilações na produção deste energético, além do fato de que o álcool depende da safra de cana-de-açúcar para ser obtido, ou seja, não tem sua produção contínua, como no caso da gasolina. Portanto, no período de entressafra, tem que ser estocado (PEDERNEIRAS, 2007).

13.4.7.1.4 Não Aproveitada

É a quantidade de energia que, por motivos técnicos ou econômicos, não é utilizada. Consiste basicamente na quantidade de gás natural que não é processada nem reinjetada, sendo queimada nos flares. Possui sinal negativo na matriz contábil (PEDERNEIRAS, 2007).

13.4.7.1.5 Reinjeção

Quantidade de gás natural que é reinjetado nos poços de petróleo ou gás para manutenção da pressão, de modo a permitir um melhor fator de recuperação. Assim como a energia não aproveitada também possui sinal negativo na matriz contábil (PEDERNEIRAS, 2007).

13.4.7.2 Setor De Transformação

Observa-se que o setor de transformação do Balanço Energético Nacional apresenta alguns centros distintos dos demais balanços energéticos internacionais.

Na linha referente a "Outras transformações" na matriz contábil do BEN, contabiliza-se a produção de fontes de energia secundárias que não ocorre nos demais centros. Esse segmento também serve para amenizar ajustes estatísticos relevantes nos fluxos de algumas fontes. Os principais processos contabilizados neste segmento são (PEDERNEIRAS, 2007):

- O retorno de energéticos obtidos como subprodutos da indústria petroquímica, por exemplo, o GLP, gasolina e óleo diesel, quando do processamento da nafta. Esses efluentes voltam às refinarias, onde são consumidos ou processados para contraírem especificação adequada.

- A recuperação de condensados de gás natural que não ocorre nas plantas de gás natural, mas nas atividades de operação e limpeza de gasodutos também é contabilizada no setor de "Outras Transformações".

- As transferências realizadas entre refinarias, de produtos de petróleo que sofrem nova especificação ou que são reutilizados como carga de refinaria, participando novamente do processo de refino. Compete ressaltar que se trata de quantidades estimadas, uma vez que a Petrobrás não provê dados de transferências entre suas refinarias, por tratar suas refinarias como se fossem uma só.

A associação de várias atividades em um único segmento do setor de transformação não permite identificar os diferentes fluxos de energéticos relacionados com essas atividades.

Ressalta-se aqui que, apesar dessa maior agregação na linha "Outras Transformações", o BEN adota um nível maior de desagregação quando trata, separadamente, os centros: Unidades de Processamento de Gás Natural, carvoarias e destilarias, que não são contemplados nos balanços das organizações internacionais (PEDERNEIRAS, 2007).

Em relação às Unidades de Processamento de Gás Natural, estas dizem respeito a um centro de separação e não de transformação. Quanto às destilarias, o BEN mostra-se mais adequado e preparado à realidade atual, aonde o álcool vem se tornando um energético respeitável na matriz mundial. Já quanto às carvoarias, é importante seu destaque em linha específica do balanço, pois carvão vegetal e lenha são energéticos bastante representativos na matriz energética brasileira (PEDERNEIRAS, 2007).

- Calor e Eletricidade

A distinção entre centrais elétricas de serviço público e centrais elétricas autoprodutoras está na atividade final da empresa.

De acordo com a metodologia do BEN, centrais elétricas de serviço público são usinas públicas ou privadas, cuja atividade principal é a geração de energia elétrica (PEDERNEIRAS, 2007).

Centrais elétricas autoprodutoras são unidades de geração de energia elétrica em empresas públicas ou privadas, onde a produção de eletricidade não é a atividade principal. Ao invés, a geração dos autoprodutores tem como função suprir a demanda de energia elétrica, havendo a possibilidade ou não de comercialização do excedente gerado. Dessa forma, o autoprodutor pode ou não estar conectado a uma rede de transmissão de energia elétrica (PEDERNEIRAS, 2007).

A esse motivo, deve-se a grande dificuldade de obtenção de dados de geração de autoprodutores, principalmente nos segmentos de produção mais descentralizados como é o caso da indústria de cerâmica, têxtil e outras (PEDERNEIRAS, 2007).

- Petróleo e Derivados

É válido destacar que a parcela de líquidos de gás natural que entra nas refinarias é apresentada de forma separada na matriz de dados energéticos do BEN. Esta parcela sai como produto das plantas de gás natural e de outras transformações e entra como insumo nas refinarias sob a classificação de outras fontes primárias (PEDERNEIRAS, 2007).

Vale destacar que na publicação do BEN, o gás natural úmido é agregado ao gás natural seco, utilizando-se seus respectivos conteúdos energéticos. Da mesma forma, asfaltos, lubrificantes e solventes são agregados sob a classificação "outras fontes secundárias de petróleo" (PEDERNEIRAS, 2007).

Como o petróleo bruto consiste em uma combinação de uma grande variedade de hidrocarbonetos, sua composição química assim como suas propriedades, dependem da localização de onde é extraído. Assim, cada tipo de petróleo apresenta suas próprias características, como grau API, densidade, viscosidade, conteúdo de enxofre e poder calorífico (PEDERNEIRAS, 2007).

A PETROBRAS por meio dos setores de controle de qualidade das suas refinarias de petróleo e do CENPES, mantém atualizadas as características físico-químicas de todos os seus produtos, estabelecendo ao final de cada ano, coeficientes médios para cada um. Dessa forma, são apresentadas no Balanço as massas específicas e poderes caloríficos inferiores de todos esses produtos (PEDERNEIRAS, 2007).

Assim, o BEN utiliza o poder calorífico inferior informado pela Petrobras para determinar o conteúdo energético do petróleo e seus derivados e em seguida realiza a transformação para a unidade comum (tep), utilizando o valor de 10.000 Kcal/Kg, adotado internacionalmente (PEDERNEIRAS, 2007).

O fluxo reverso da indústria petroquímica, que corresponde ao subproduto acabado ou semiacabado do processo de fabricação de produtos petroquímicos e que retorna à refinaria para processamento é contabilizado no BEN na linha "outras transformações". Desta forma, da nafta que vai para a indústria petroquímica, uma parte é transformada na coluna "outros energéticos de petróleo" e parte volta para as refinarias, sob a forma de óleo diesel, óleo combustível, gasolina e GLP (PEDERNEIRAS, 2007).

- Gás Natural

As plantas de gás natural representam um centro cuja finalidade principal é a separação do gás natural úmido do gás natural seco para o seu posterior transporte, distribuição e consumo final. No entanto, a atividade de processamento de gás natural leva à produção de outros energéticos, como a gasolina, o GLP e a nafta (PEDERNEIRAS, 2007).

Dessa forma, a metodologia utilizada pelo MME para a contabilização da quantidade de gás natural úmido que entra nas plantas de gás natural consiste em obter-se o conteúdo energético de produtos gerados nesse centro de transformação e em seguida realizar a conversão para unidades comerciais através do poder calorífico do gás natural úmido (PEDERNEIRAS, 2007).

As massas específicas e poderes caloríficos inferiores referentes ao gás natural apresentados no Balanço, da mesma forma que ocorre para o petróleo e seus derivados, são fornecidos pela PETROBRAS que, por meio dos setores de controle de qualidade das suas refinarias e do CENPES, mantém atualizadas as características físico-químicas dos seus produtos, estabelecendo ao final de cada ano, coeficientes médios para cada um dos energéticos observados durante o ano (PEDERNEIRAS, 2007).

O BEN destaca como um de seus centros de transformação as usinas de gaseificação. Estas usinas são responsáveis pela produção de gás canalizado também chamado de gás manufaturado, a partir de uma variedade de possíveis insumos. No início da década de 70, a produção de gás manufaturado tinha como insumos a nafta e o carvão metalúrgico, com a consequente produção de coque de carvão mineral, além do gás. A partir de 1975, o gás manufaturado passou a ser produzido somente a partir de nafta, até a iniciação da utilização do gás natural em conjunto com a nafta em 1983. Ao final da década de 90, devido à substituição pelo gás natural, a produção do gás manufaturado entrou em declínio, se extinguindo em 2003 (PEDERNEIRAS, 2007).

- Carvão Mineral

As coquerias representam um centro de transformação que tem como finalidade principal a produção de coque de carvão mineral, utilizado como redutor em processos industriais a partir do carvão metalúrgico. Também é produto desse centro de transformação o gás de coqueria e outras fontes secundárias, como o alcatrão (PEDERNEIRAS, 2007).

Os dados de produção e consumo de coque, assim como as informações de produção de gás de coqueria e de alcatrão são obtidos pelo MME diretamente das indústrias siderúrgicas (PEDERNEIRAS, 2007).

As usinas siderúrgicas integradas possuem um complexo sistema de reaproveitamento de efluentes energéticos, resultantes dos processos de produção de coque (coquerias), de redução do minério de ferro (alto fornos) e de produção de aço (aciarias). Cada um desses centros de processamento gera efluentes energéticos que são utilizados como fontes de calor e de geração de energia elétrica em diversos processos, de forma a aumentar a eficiência energética global das siderúrgicas. Por exemplo: a redução do minério de ferro em alto forno produz além do ferro- gusa, o gás de alto-forno, utilizado normalmente como fonte térmica no próprio alto- forno ou em outros processos adjacentes (PEDERNEIRAS, 2007).

A metodologia utilizada pelo BEN consiste em distinguir as coquerias como um centro de transformação, cujos energéticos secundários consistem no coque de carvão mineral, no gás de coqueria e no alcatrão. Por meio dos questionários preenchidos pelas siderúrgicas, o BEN contabiliza as parcelas de gás de coqueria utilizadas para geração de energia elétrica (centrais elétricas autoprodutoras), consumidas nas próprias coquerias (consumo final do setor energético) e utilizadas nos demais processos industriais (consumo final do setor de ferro gusa e aço) (PEDERNEIRAS, 2007).

O BEN, por não apresentar o centro de transformação "alto forno", como nos balanços internacionais, não contabiliza a transformação do coque em gás de alto- forno, atribuindo todo o coque utilizado no alto-forno ao consumo final industrial. Da mesma forma, toda a produção de gás de alto forno é atribuída à geração de energia elétrica, o que pode subestimar a eficiência de autoprodução de energia elétrica das usinas siderúrgicas e superestimar o consumo final da siderurgia, pois todo o consumo de coque está sendo atribuído à siderurgia, quando, na verdade, ela somente consumiu a parte do coque que foi utilizada para redução (PEDERNEIRAS, 2007).

Dessa forma, a inclusão desse centro de transformação no BEN, além de permitir uma maior compatibilidade com a metodologia dos balanços internacionais, garantiria uma melhor contabilização dos fluxos energéticos para essa atividade (PEDERNEIRAS, 2007).

- Renováveis e Resíduos

As carvoarias representam um centro de transformação responsável pela transformação da lenha em carvão vegetal, por meio da pirólise da lenha fora do contato do ar. A produção de carvão vegetal é calculada a partir dos dados de consumo setorial de carvão vegetal, levando-se em conta um percentual referente a perdas de distribuição e armazenagem. Assim, obtém-se a quantidade de carvão vegetal que sai das carvoarias e é contabilizada na linha "Carvoarias" (PEDERNEIRAS, 2007).

A quantidade de lenha utilizada para a produção de carvão é obtida através de um coeficiente de rendimento com relação ao carvão produzido. Esse coeficiente de rendimento corresponde à razão entre a massa do carvão vegetal produzido e a massa de lenha utilizada como insumo. A metodologia utilizada para elaboração do balanço considera um rendimento de cerca de 25,3%, ou seja, para cada tonelada de lenha que entra na carvoaria, são produzidos 253 kg de carvão vegetal (PEDERNEIRAS, 2007).

Como o conteúdo energético do carvão vegetal e da lenha comercial utilizados na elaboração do BEN correspondem a 6460 kcal/kg e 3100 kcal/kg, respectivamente, o coeficiente de rendimento em termos energéticos cor-

responde a 52,7%, ou seja, para cada 1 tep de lenha, é produzido 0,527 tep de carvão vegetal (PEDERNEIRAS, 2007).

As destilarias são um centro de transformação responsável pela produção de álcool anidro e hidratado a partir do caldo da cana de açúcar e do melaço. Os dados de produção de álcool anidro e hidratado são obtidos a partir das seguintes fontes de informação: a ANP, que dispõe de sistemas de informações que consolidam os dados de vendas das Distribuidoras, por combustível, bem como os dados de produção e estoques de derivados de petróleo; o Departamento Sucroalcooleiro do Ministério da Agricultura, que acompanha a produção, saídas e estoques de álcool dos produtores; a Secretaria de Comércio Exterior, que registra as importações e exportações brasileiras de mercadorias e a DATAGRO, entidade especializada em questões de açúcar e álcool e que acompanha a evolução do consumo de combustíveis veiculares junto aos produtores e distribuidores (PEDERNEIRAS, 2007).

- Energia Nuclear

A metodologia utilizada pelo Ministério de Minas e Energia para a contabilização da energia nuclear utilizada para geração de energia elétrica consiste em apresentar o ciclo do combustível nuclear, contabilizando a energia primária contida no *yellowcake* (U_3O_8) antes do enriquecimento, a energia secundária contida no urânio enriquecido na forma de dióxido de urânio (UO_2) e finalmente a energia elétrica gerada a partir da fissão do combustível nuclear nas centrais elétricas nucleares (PEDERNEIRAS, 2007).

A contabilização da energia contida no combustível nuclear é realizada da seguinte maneira: a quantidade (em toneladas) de *yellowcake* e de urânio contido no UO_2 produzida é transformada em tep através de seus respectivos fatores de conversão informado pelas Indústrias Nucleares do Brasil (PEDERNEIRAS, 2007).

Devido ao grande número de atividades envolvidas na transformação do urânio natural (*yelllowcake*) em urânio enriquecido contido em pastilhas de UO_2, o tempo de processamento dessa transformação, segundo o MME, é, em média, de 21 meses. Em função disso, todo o urânio que estiver em processamento no ciclo do combustível é registrado no BEN como estoque de U_3O_8. A parcela correspondente à produção de urânio contido no UO_2 dos elementos combustíveis, acrescida de cerca de 1,5% de perdas na transformação, é restituída a cada ano do estoque de U_3O_8 (PEDERNEIRAS, 2007).

13.4.7.3 Setor de Consumo Final

O setor de consumo final da matriz de dados energéticos do BEN é dividido em consumo final energético e consumo final não energético.

O consumo final não energético do BEN relaciona os energéticos utilizados para fins onde o conteúdo energético do produto não é a característica fundamental. Fazem parte deste grupo os seguintes casos (PEDERNEIRAS, 2007):

- Quantidades de gás natural seco, gás de refinaria e nafta utilizadas pela indústria química e petroquímica para a síntese de produtos como plásticos, borrachas, fertilizantes e pesticidas;

- Derivados de petróleo utilizados em atividades não energéticas como querosene, asfalto, solventes, lubrificantes e outros;

- Parcela de álcool anidro e hidratado que não é consumida no setor de transportes.

O consumo final do energético, por sua vez, é dividido nos seguintes segmentos: setor energético, residencial, comercial, público, agropecuário, transportes e industrial (PEDERNEIRAS, 2007).

O consumo final do setor energético engloba toda a energia consumida nos centros de transformação e nos processos de extração e transporte interno de produtos energéticos, na sua forma final. É incluída no consumo do setor energético a energia consumida nas seguintes atividades (PEDERNEIRAS, 2007):

- Extração de carvão mineral;
- Extração de petróleo e serviços correlatos;
- Fabricação de coque, combustíveis nucleares, álcool e refino de petróleo;
- Eletricidade, gás e água quente.

Vale ressaltar aqui que, enquanto que a IEA, Eurostat e Olade apresentam o consumo próprio do setor energético dentro do setor de transformação de seus balanços energéticos, o BEN apresenta o consumo do setor energético dentro do setor de consumo final do balanço energético (PEDERNEIRAS, 2007).

A principal implicação dessa diferença metodológica está relacionada com o cálculo da eficiência de transformação e de consumo final da economia, no caso de análises comparativas entre metodologias diferentes. Ao se comparar a eficiência de transformação entre o BEN e um balanço da IEA, por exemplo, é necessário subtrair o consumo do setor energético do total de transformação no balanço da IEA. De forma equivalente, deve-se subtrair o consumo final do setor energético do consumo final total do BEN, no caso de uma comparação de eficiência de consumo final (PEDERNEIRAS, 2007).

Trata-se, portanto, de uma diferença metodológica que merece especial atenção nos casos de comparações internacionais de dados energéticos agregados, como o consumo final total, e o total da transformação (PEDERNEIRAS, 2007).

- Carvão Mineral

O consumo final de carvão vapor ocorre de forma reduzida e pulverizada nos diversos segmentos do setor industrial. O carvão metalúrgico importado, além de ser utilizado para produção de coque nas usinas siderúrgicas também é consumido diretamente nos setores de cimento, mineração e pelotização, não ferrosos, na indústria química e outras indústrias (PEDERNEIRAS, 2007).

A parcela do gás de coqueria que não é utilizada para geração de eletricidade é utilizada para reaproveitamento térmico e, assim, contabilizada como consumo final do setor de ferro gusa e aço (PEDERNEIRAS, 2007).

Todo o coque de carvão mineral, desconsiderando-se as perdas na distribuição e armazenagem é atribuído ao consumo final industrial, na categoria de indústrias metalúrgicas (PEDERNEIRAS, 2007).

É importante destacar que uma parcela do coque é transformada em gás de alto-forno, outra parcela é utilizada no processo de redução do minério de ferro e outra é utilizada como fonte térmica para sustentação das reações de redução. Ou seja, o consumo final de coque no setor industrial é, na realidade, a parcela que foi efetivamente utilizada na redução do minério de ferro. No entanto o BEN não estabelece uma separação entre a parcela utili-

zada como redutor e como fonte térmica, atribuindo todo o seu consumo nas siderúrgicas ao consumo final energético do setor de ferro gusa e aço (PEDERNEIRAS, 2007).

- Renováveis e Resíduos

No setor industrial, a maior parcela do consumo de lenha acontece nos segmentos de alimentos e bebidas, cerâmica e papel e celulose. Com relação ao consumo de produtos da cana, o consumo se dá principalmente no segmento de alimentos e bebidas (PEDERNEIRAS, 2007).

A maior parte do consumo de álcool anidro e hidratado é para uso energético no setor de transportes, embora uma pequena parte seja para consumo não energético (PEDERNEIRAS, 2007).

Com relação aos outros setores, merece ênfase o setor residencial, onde a lenha ainda é muito utilizada em áreas rurais para aquecimento de água e cocção de alimentos. Vale ressaltar que a contabilização da lenha para consumo final é bastante dificultada pelo fato de uma parcela considerável desse energético ser coletada de forma manual para o consumo, impossibilitando registros precisos de quantidade consumida (PEDERNEIRAS, 2007).

Tendo em vista a inexistência de pesquisas de campo periódicas e satisfatoriamente abrangentes que avaliem o consumo de lenha no Brasil, é necessário lançar mão de pesquisas já realizadas pelo IBGE, como a PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios e os Censos, que apresentam a posse de fogões por domicílios, e ainda obter outras informações, como o consumo específico de lenha por fogão, para se estimar o consumo de lenha no Brasil (PEDERNEIRAS, 2007).

De acordo com a Nota Técnica COBEN 07/88 do MME que avalia o consumo residencial de lenha e carvão vegetal do Balanço Energético Nacional, até o BEN de 1987, as séries históricas de consumo setorial de lenha registradas no Balanço foram estimadas com base no Censo do ano de 1970, tendo, portanto, apenas um ano de referência.

Acrescido a isto, ainda segundo essa Nota Técnica, em 1976 o MME recebeu a recomendação de aumentar o consumo de lenha em alguns setores do Balanço a fim de que a participação do petróleo na oferta interna de energia decrescesse. Acreditava-se, portanto, que as séries de consumo setorial de lenha poderiam estar acumulando desvios significativos.

A partir de 1985, com a publicação do Censo de 1980 pelo IBGE, a realização de pesquisas pelas equipes Estaduais de Balanços Energéticos e informações da pesquisa industrial do Conselho Nacional do Petróleo, foi possível uma reavaliação, por parte do MME, das séries históricas do consumo setorial de lenha. Verificou-se, na época que as séries históricas, de fato, vinham acumulando desvios significativos (PEDERNEIRAS, 2007).

Com relação ao setor residencial, embora houvesse bastante coerência entre os resultados obtidos a partir dos Censos de 1970 e 1980, uma nova série para o consumo de lenha para cocção de alimentos foi estimada pelo MME, tomando por base as seguintes informações disponibilizadas nas fontes citadas acima (PEDERNEIRAS, 2007):

- Número de domicílios;

- Número de fogões por tipo de combustível;

- Consumo específico de cada combustível;
- Número de pessoas por domicílio;
- Rendimento de cada tipo de fogão e;
- Consumo médio em energia útil.

Cabe destacar que, além das informações acima, a metodologia de cálculo do consumo de lenha do BEN assume algumas hipóteses para estimar o consumo residencial de lenha para cocção. Para a variável "domicílios com mais de um fogão", por exemplo, obtida nas pesquisas citadas acima, admite-se o número de dois fogões (PEDERNEIRAS, 2007).

Além disto, na medida em que os dados das pesquisas referem-se a um determinado ano é necessário fazer extrapolações e interpolações para se atualizar a série histórica. Desta forma, sempre haverá algum grau de inconstância presente na avaliação do consumo final deste energético (PEDERNEIRAS, 2007).

13.4.8 Tratamento Da Cogeração No Balanço Energético Nacional

A cogeração é o aproveitamento combinado de forma simultânea de duas ou mais formas de energia a partir de um único combustível. O procedimento mais comum é a produção de eletricidade e energia térmica partir do uso de gás natural ou de biomassa, entre outros. Em outras palavras o vapor superaquecido em caldeiras passa por uma turbina atrelada a um gerador, gerando energia elétrica e em seguida, o vapor resultante segue no processo industrial atendendo a outros usos motrizes e de calor, como em atividades de secagem, centrifugação, moagem, destilação e higienização (COGEN, 2013).

A cogeração ocorre principalmente em autoprodutores industriais, uma vez que estes, geralmente necessitam de eletricidade, força motriz e calor.

Na geração térmica convencional o vapor após passar pela turbina não é aproveitado, passa por condensadores e a água retorna à caldeira. Nessa situação, o rendimento do processo é dado pela relação entre as calorias de eletricidade gerada e as do combustível consumido na caldeira. Frequentemente este rendimento é baixo, não excedendo 30% (NT 08/93, COBEN, MME, 1993).

Nesse tipo de geração as informações de consumo de combustível e da eletricidade gerada são conhecidas, o que não ocorre no processo de cogeração, por ser um processo conjugado de produção de eletricidade e calor, sendo necessário que se determine as parcelas de combustível queimado na caldeira para cada fonte de energia.

Geralmente, autoprodutor informa somente qual o combustível queimado na caldeira e a eletricidade gerada, competindo aos responsáveis pela elaboração do balanço energético o serviço de computar as parcelas utilizadas para geração de calor e de eletricidade.

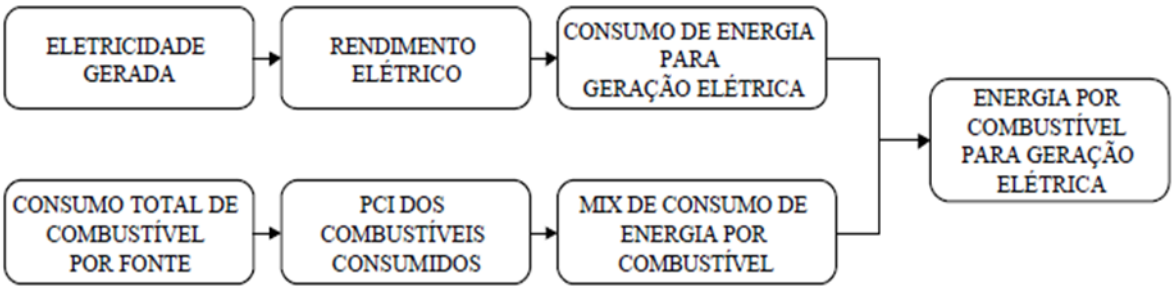
É muito comum ocorrer o engano de se determinar todo o combustível queimado nas caldeiras como gerando a eletricidade, o que resulta em baixos rendimentos na autoprodução, não sendo maiores que 10% e também na subestimação do consumo final da indústria.

A metodologia empregada no BEN consiste em determinar o consumo de combustível por fonte utilizado para geração de eletricidade baseado no rendimento elétrico da central autoprodutora. Tendo a energia necessária por

fonte para a geração de energia elétrica, o restante da energia consumida é destinado para a geração de calor (PEDERNEIRAS, 2007).

A figura a seguir exibe sistematicamente o procedimento utilizado para realizar este cálculo (PEDERNEIRAS, 2007).

Figura 13.7 – Procedimento para o cálculo do consumo de combustíveis para geração elétrica em centrais cogeradoras



O primeiro cálculo a ser realizado é o consumo total de energia utilizado para geração elétrica embasado no rendimento elétrico da central autoprodutora. Nos casos em que o rendimento elétrico não é informado, é usado um rendimento de 50%. Em seguida são calculadas as parcelas percentuais, chamadas de mix, de consumo de energia por fonte e por fim é calculado o consumo de energia por combustível para geração elétrica dividindo-se proporcionalmente o consumo de energia para geração elétrica pelas parcelas correspondentes a cada combustível (PEDERNEIRAS, 2007).

O restante do consumo energético utilizado para a geração de calor é distribuído do acordo com cada fonte de energia conforme seus respectivos poderes caloríficos e este é contabilizado como consumo final do setor ao qual o autoprodutor pertence (PEDERNEIRAS, 2007).

Enfim, o Balanço Energético Nacional vem retratar a realidade brasileira no que diz respeito à oferta e consumo de energia, de forma a conhecer a matriz energética brasileira e planejar energeticamente o futuro do país.

13.5 Balanços Energéticos Estaduais

Assim como o Balanço Energético Nacional, os balanços energéticos estaduais são realizados para o conhecimento, aprofundamento e detalhamento das características energéticas regionais de cada estado.

Infelizmente, alguns estados, como por exemplo, os da Região Norte, ainda não produzem o balanço e outros ainda são adeptos recentes de sua execução. Mas, de uma maneira geral, pode-se considerar que o Brasil caminha em direção a uma cobertura total dos dados energéticos do País, possibilitando uma integração e contribuição tanto para a execução dos balanços estaduais, como para a execução do Balanço Nacional.

A seguir, apresentam-se características básicas do processo de elaboração dos Balanços Estaduais.

13.5.1 Região Nordeste

Dos nove estados da Região Norte, apenas quatro estados apresentam um trabalho efetivo de desenvolvimento de balanços energéticos. Os demais, na maioria das vezes, por falta de desenvolvimento de políticas direcionadas para a atividade ainda não elaboram seus respectivos balanços energéticos.

13.5.1.1 Alagoas

O Balanço Energético do Estado do Alagoas (BEAL) é publicado pelo governo do Estado através da Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico (SEPLANDE) e elaborado pela Secretaria Adjunta de Energia e Recursos Minerais (BEAL, 2012).

Estruturado em dez capítulos, o BEAL apresenta a consolidação dos dados energéticos do Estado a partir do ano de 2002, quando começou a ser executado (BEAL, 2012).

Sobre a importância da elaboração do Balanço para o desenvolvimento do Estado, a Seplande relata:

> A importância da energia como insumo fundamental no processo de desenvolvimento econômico justifica a preocupação da Seplande em transformar a atividade de elaboração dos balanços energéticos estaduais numa rotina permanente, porém, sempre com o olhar atento para os aprimoramentos e atualizações tecnológicas verificadas no Brasil e no mundo. (BEAL, 2012, p. 11).

13.5.1.2 Bahia

O Balanço Energético do Estado da Bahia é publicado pela Secretaria de Infraestrutura do Estado (SEINFRA) e elaborado pela Coordenação de Desenvolvimento Energético (BALANÇO ENERGÉTICO DA BAHIA, 2009).

O BE baiano contém seis capítulos que descrevem o perfil do sistema energético baiano a partir do ano de 1992, ressaltando a contabilização da produção do concentrado de urânio nas instalações industriais da usina de beneficiamento de Caetité (BALANÇO ENERGÉTICO DA BAHIA, 2009).

13.5.1.3 Ceará

O Balanço Energético do Estado do Ceará (BEECE), assim como o Balanço Baiano também é publicado através da Secretaria de Infraestrutura do Estado (SEINFRA) e executado pela ENERGO (Engenharia e Consultoria em Energias S/S Ltda) (BEECE, 2008).

O Balanço cearense apresenta sete capítulos com oferta e demanda de energia do Estado com dados consolidados a partir do ano de 1993 e o interessante é a sua preocupação em fazer comparações com os Balanços de outros países tais como África e Guatemala, visando situar e dimensionar os potenciais Estaduais numa visão internacional (BEECE, 2008; EPE, 2005).

Segundo a SEINFRA, a publicação do Balanço é um instrumento indispensável para a elaboração de planos e programas que irão compor as políticas públicas de energia do Estado (BEECE, 2008).

13.5.1.4 Pernambuco

O primeiro Balanço Energético do Estado de Pernambuco foi publicado em dezembro de 1983 pela extinta Secretaria de Transportes, Energia e Comunicações relativo aos anos de 1980 e 1981 (CALVACANTI, 2000).

O sétimo e último Balanço do Estado foi publicado no ano de 2011, compreendendo a série histórica de 2000 a 2010, sendo elaborado pela Secretaria Executiva de Energia que integra a Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do Estado (SRHE) (CALVACANTI, 2000).

Pernambuco, diferentemente de outros Estados, não tem o hábito de produzir Balanços Energéticos anualmente, o que bloqueia as tentativas de formulação de programas e politicas energéticas, dificultando, de certa maneira, o desenvolvimento deste setor no Estado.

13.5.2 Região Centro – Oeste

Na Região Centro – Oeste apenas o estado do Mato Grosso do Sul ainda não apresenta a contabilização da sua matriz energética.

13.5.2.1 Goiás

O Balanço Energético do Estado de Goiás (BEGO) é elaborado e publicado pela Secretaria de Estado de Infraestrutura (SEINFRA) e apresenta a consolidação da série histórica a partir do ano de 1994 (BEGO, 2009).

É possível observar na produção do BE de Goiás a ênfase dada às energias renováveis, considerando as condições privilegiadas do Estado, visto que a utilização das renováveis favorece diversas vantagens ao agronegócio goiano, desenvolvendo a geração de emprego e renda.

13.5.2.2 Mato Grosso

O Balanço Energético do Estado do Mato Grosso (BEEMT) é uma iniciativa da Secretaria de Indústria, Comércio, Minas e Energia (SICME), apresentando a série histórica consolidada a partir de 1999 (BEEMT, 2010).

O interessante observado no BE do Mato Grosso é que sua metodologia além de abordar a oferta e demanda de energia do Estado de uma forma geral, aborda-a também para as suas mesorregiões, classificadas de acordo com o IBGE. Dessa maneira, a estrutura do trabalho mostra o comportamento energético por regiões do Estado (BEEMT, 2010).

O BEEMT também apresenta coeficientes de intensidade energética em setores da economia, sendo estes muito úteis para avaliar a maneira como a energia é consumida e a intensidade desse consumo, bem como para elaborar programas de eficiência energética (BEEMT, 2010).

13.5.3 Região Sudeste

13.5.3.1 Espírito Santo

No Estado do Espírito Santo foi criada no ano de 2005 a ASPE (Agência de Serviço Público de Energia), vinculada à Secretaria de Desenvolvimento do Estado designada para estudar, planejar, regular, controlar e fiscalizar o sistema energético do Estado (BEES, 2012).

Como um dos produtos do trabalho da ASPE, tem-se a elaboração do Balanço Energético do Estado, executado desde 2006, criando um ambiente favorável ao desenvolvimento do setor energético e instituindo uma base de dados para os mais variados tipos de estudos (BEES, 2012).

13.5.3.2 Minas Gerais

O Balanço Energético do Estado de Minas Gerais (BEEMG) é elaborado pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), através da Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas e coordenado pela Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (SEDE) (BEEMG, 2011).

O BEEMG já alcançou a marca de vinte e seis edições consolidando dados energéticos em sua série histórica desde o ano de 1978 (BEEMG, 2011).

Apresentando dados sobre a matriz energética estadual, o BEEMG atua de forma a documentar e direcionar as políticas e programas voltados às questões energéticas, visando ao desenvolvimento sustentável (BEEMG, 2011).

13.5.3.3 Rio De Janeiro

Produzido pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços, o Balanço Energético do Estado do Rio de Janeiro, apresenta em sua série histórica, dados compilados desde 1980 (BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2009).

Ponderando sobre o Balanço Energético do Rio de Janeiro, percebe-se a importância e ênfase merecida que são dadas ao energético petróleo, visto que as maiores reservas petrolíferas do País estão localizadas no litoral carioca (BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2009).

Portanto, o BE é instrumento fundamental do Estado para nortear os estudos e trabalhos no setor.

13.5.3.4 São Paulo

O Balanço Energético do Estado de São Paulo é produzido pela Secretaria de Energia do Estado e apresenta a série histórica consolidada a partir do ano de 1980 (BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2012).

É importante ressaltar que o Balanço Energético de São Paulo relaciona a participação de energia elétrica do Estado no contexto nacional e apresenta uma visão geral deste e de sua matriz energética, assim como a disponibilidade de recursos e reservas disponíveis no território (BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2012).

13.5.4 Região Sul

13.5.4.1 Paraná

O Estado do Paraná não possui uma Secretaria de Energia, entretanto, foi fundado o Conselho Estadual de Energia, com o intuito de estabelecer diretrizes referentes à produção, distribuição e uso de energia no Paraná, assim como preparar o Plano Estadual de Energia e possibilitar a implementação de programas de beneficiamento energético (COPEL, 2010).

A Companhia Paranaense de Energia - Copel é integrante desse Conselho na condição de órgão executor do planejamento do Estado (COPEL, 2010).

O Balanço Energético do Paraná é realizado desde o ano de 1980 e vem, desde então, consolidando informações e promovendo o desenvolvimento de uma politica energética para o Estado, ressaltando os potenciais econômicos e a inclusão social e ambiental para o desenvolvimento sustentável. (COPEL, 2010).

13.5.4.2 Rio Grande Do Sul

Apresentado pelo Grupo CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica) e apoiado pela Secretaria de Infraestrutura do Estado (SEINFRA), o Balanço Energético do Estado do Rio Grande do Sul é realizado desde 1979, consolidando informações energéticas do Estado (BALANÇO ENERGÉTICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2011).

Analisando o conteúdo do BE do Rio Grande do Sul, percebe-se que este apresenta alguns diferenciais como (BALANÇO ENERGÉTICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2011):

- a tendência mundial do consumo de energia, examinando a situação energética mundial e enfatizando cenários prováveis para 2035;
- o panorama energético nacional, situando o Brasil energeticamente de acordo com os estudos da EPE e as projeções da IEA;
- um capítulo referente aos recursos e reservas disponíveis no Estado;
- Balanço Energético Mundial, situando o Rio Grande do Sul em âmbito mundial e;
- anexo referente ao dados mundiais de energia com dados econômicos e energéticos de diferentes países.

Assim como os demais balanços, o balanço gaúcho também é base para desenvolvimento de programas e politicas energéticas no Estado.

13.5.4.3 Santa Catarina

Adotando a prática de elaboração do BE recentemente, em 2011, o Balanço Energético do Estado de Santa Catarina é coordenado pela CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A) em parceria com a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável por meio da Diretoria de Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável (SDS, 2011).

13.6 Balanço Energético Mundial

Em nível mundial, o Balanço Energético é realizado por grandes e renomadas instituições, como a Agência Internacional de Energia (International Energy Agency – IEA) o Departamento de Energia e Mudanças Climáticas (Departament of Energy & Climate Change - DECC) do Reino Unido, a Eurostat – Órgão Oficial de Estatística da Comunidade Europeia e a Olade – Organização Latino Americana de Energia, as quais serão descritas adiante (PEDERNEIRAS, 2007).

Os Balanços Energéticos Mundiais, assim como os Estaduais e o Nacional, se propõem a contabilizar de forma globalizada os fluxos energéticos da produção ao consumo final, considerando as fontes primárias e secundárias de energia e os centros de transformação.

Adicionalmente, diferentes países podem ser comparados quando seus Balanços são calculados usando a mesma metodologia e o setor de transformação pode ser conferido pelas entradas e saídas dos insumos, o que é um bom controle de qualidade.

É importante ressaltar que o Balanço Mundial permite observar a eficiência de cada combustível e a importância das diferentes fontes de combustível em sua contribuição para a economia. É considerado como ponto de partida para a produção de vários indicadores de consumo de energia e de eficiência energética e também funciona como verificador de alto nível sobre a precisão dos dados reunidos.

Segundo definições do Departamento de Energia e Mudanças Climáticas – DECC e da Organização Latino Americana – OLADE, as edições globalizadas dos Balanços Energéticos tem como metas básicas:

- Entender, em detalhes, a estrutura do setor energético;
- Melhorar a relevância de estatísticas de energia fornecendo informações completas sobre a situação energética em cada território;
- Prover informações completas sobre oferta e demanda de energia, de modo a compreender a segurança energética e o funcionamento efetivo dos mercados de energia;
- Determinar os usos competitivos e não competitivos de cada recurso energético, a fim de promover processos de substituição sempre que for necessário;
- Servir como ferramenta de qualidade para garantir a coerência das estatísticas básicas;
- Criar bases apropriadas que conduzirá ao aprimoramento e sistematização das informações energéticas;
- Garantir meios de comparação das informações entre diferentes anos e entre diferentes países;
- Estabelecer base para estimar as emissões de CO_2;
- Avaliar a dinâmica do sistema energético em concordância com a economia de cada país, determinando as principais relações econômico-energéticas entre os diferentes setores da economia;
- Ser utilizado para permitir previsões e perspectivas em curto, médio e longo prazo;
- Contribuir para estudos energéticos de todo o mundo.

De forma geral, como os Balanços Mundiais são estudados e a metodologia que é usada para sua realização, não se diferem muito da estrutura utilizada pelo BEN, sendo considerada Oferta ou Energia Primária, Centros de Transformação e Consumo Final.

Enfim, os Balanços Energéticos permitem visualizar como a energia é produzida, exportada ou importada, transformada e consumida pelos setores econômicos, permitindo um diagnóstico da situação energética de todo o mundo, tornando-se uma ferramenta que facilita e viabiliza o planejamento global de energia.

13.6.1 Instituições Internacionais

13.6.1.1 Organização Para Cooperação E Desenvolvimento Econômico (OCDE)

A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), cuja sede é em Paris, é uma organização internacional fundada em dezembro de 1961 onde os governos de 34 democracias trabalham juntos para enfrentar desafios econômicos, sociais e ambientais da globalização (OECD/IEA, 2005).

A OCDE também é pioneira nos esforços para ajudar os governos a contrapor aos novos desenvolvimentos e preocupações, tais como governança corporativa, a economia da informação e os desafios do envelhecimento da população. A organização oferece um ambiente onde os governos podem comparar experiências de política, procurar respostas para problemas comuns, identificar boas práticas e trabalhar as políticas nacionais e internacionais (OECD/IEA, 2005).

Atualmente os países membros da OCDE: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Chile, Coréia do Sul, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Israel, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Tcheca, Suécia, Suíça e Turquia (OECD/IEA, 2005).

13.6.1.2 Agência Internacional De Energia (IEA)

A Agência Internacional de Energia (IEA) é um organismo autônomo, criado em novembro de 1974, no âmbito da Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OCDE) com o objetivo de instalar um programa de energia internacional (OECD/IEA, 2005).

A IEA desenvolve um amplo programa de cooperação energética entre vinte e seis dos trinta e quatro que compõem a OCDE. Basicamente seus objetivos são (OECD/IEA, 2005):

- manter e aperfeiçoar sistemas para lidar com interrupções de fornecimento de petróleo;
- promover políticas de uso racional de energia em um contexto global, através de relações cooperativas com países não membros, indústrias e organizações internacionais;
- operar um sistema de informação permanente no mercado internacional de energia;
- melhorar a estrutura de oferta e demanda de energia do mundo, desenvolvendo fontes alternativas de energia e aumentando a eficiência no uso de energia e
- auxiliar na integração de políticas ambientais e energéticas.

A agência foi criada em 1974, após a primeira crise do petróleo e o objetivo maior ao fundá-la era precaver os países membros de novas interrupções no fornecimento do energético. Portanto, para isso, algumas medidas foram estabelecidas, como a estocagem apropriada para o óleo, acordos para o aumento da eficiência energética, variação das fontes de energia e desenvolvimento de tecnologias mais limpas e eficientes (PEDERNEIRAS, 2007).

A necessidade de politicas de longo prazo e clareza das informações a fim de que os estudos sobre os sistemas energéticos dos países se desenvolvessem e levassem aos resultados desejados resultou na elaboração dos primeiros balanços energéticos publicados pela IEA (PEDERNEIRAS, 2007).

Atualmente os 26 países membros da IEA são: Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, República Tcheca, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Japão, Coréia do Sul, Luxemburgo, Holanda,

Nova Zelândia, Noruega, Portugal, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido e os Estados Unidos (OECD/IEA, 2005).

A Agência conta com uma equipe de cerca de 190 colaboradores, principalmente especialistas na área da Energia entre os seus países membros, e realiza um vasto programa de investigação energética, reunião de dados, publicações e divulgação pública das políticas energéticas mais recentes, além de análises e recomendações sobre as boas práticas (OECD/IEA, 2005).

13.6.1.3 Eurostat

A Eurostat é o órgão que presta o serviço de estatística da Comunidade Europeia, desde 1953 para atender requisições da Comunidade do Carvão e do Aço (OECD/IEA, 2005).

Sua principal tarefa é fornecer dados estatísticos à União Europeia que admitam comparações entre países e regiões. Os dados coletados pelos países membros são consolidados e compatibilizados pela Eurostat e para garantir de disponibilidade destes, a instituição organiza publicações para os mais diversos tipos de usuários (PEDERNEIRAS, 2007).

Os países que compõem a Eurostat são: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Inglaterra, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Portugal e Suécia (PEDERNEIRAS, 2007).

13.6.1.4 Organização Latino Americana De Desenvolvimento De Energia (OLADE)

A Olade também foi criada no contexto da crise do petróleo da década de 1970, cujo alcance e efeitos foram mundiais. Os países da América Latina e do Caribe desprovidos de políticas energéticas e frente a necessidade de abordar a crise, iniciou um procedimento intenso de mobilização política que resultou em 2 de novembro de 1973 na assinatura da Convenção de Lima, documento que fundou a organização, sendo ratificada pelos 27 países da América Latina e o Caribe (OLADE, 2013).

Com a criação da Olade estabeleceu-se um mecanismo de cooperação entre os países da região para desenvolver seus recursos energéticos e os aspectos relativos à sua utilização de maneira eficiente e racional, colaborando para o desenvolvimento econômico e social da América Latina e do Caribe (OLADE, 2013).

Os objetivos da Olade são (OLADE, 2013):

- atender os requisitos dos países membros e do país participante mediante os acordos da Organização;
- prover os funcionários de ferramentas necessárias para o cumprimentos de suas atividades;
- contar com uma ambiente de trabalho satisfatório que propicie o trabalho em equipe e o melhoramento continuo;
- controlar e verificar o cumprimento das metas estabelecidas.

Atualmente, a Olade conta com a participação dos seguintes países (OLADE, 2013):

- América do Sul: Argentina, Brasil, Bolívia, Chile, Colômbia, Equador Paraguai, Peru, Uruguai e Venezuela;

- Caribe: Barbados, Cuba, Granada, Guiana, Haiti, Jamaica, Trinidad e Tobago, República Dominicana e Suriname;

- América Central: Belize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicarágua, Panamá;

- País Participante: Argélia.

Enfim, a Olade é uma organização de apoio politico e técnico, através do qual os seus países membros unem esforços para realizar a integração energética regional contribuindo para o desenvolvimento sustentável e a eficiência energética (OLADE, 2013).

13.6.1.5 *United Nations Statistics Division* (ONU)

A Organização das Nações Unidas foi estabelecida em 1945, com o intuito de preservar a paz mundial entre os países (PEDERNEIRAS, 2007).

A Divisão Estatística das Nações Unidas está inserida na Divisão de Desenvolvimento Econômico e Social (UNDESA) e tem como função a coleta, o processamento e a propagação de informação estatística bem como a sua normalização em questão de métodos e classificações (PEDERNEIRAS, 2007).

Para que possa agir a ONU ministra um centro mundial de informações a respeito de comércio internacional, contas nacionais, energia, indústria, meio ambiente, transporte e estatísticas sociais e demográficas obtidas através de fontes nacionais e internacionais (PEDERNEIRAS, 2007).

Ressalta-se também o trabalho desenvolvido em conjunto entre a AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica), ONU (mais precisamente a UNDESA), a IEA, Eurostat e AAE (Agência Ambiental Européia), resultando na base consolidada de indicadores energéticos, denominada ISED (*Indicators for Sustainable Energy Development*). Indicadores que permitem o desenvolvimento de ações no sentido de se alcançar os objetivos do processo de planejamento do desenvolvimento sustentável de uma forma unificada (PEDERNEIRAS, 2007).

Em anexo, encontram-se os modelos das matrizes utilizadas na elaboração dos balanços energéticos realizados pelas instituições citadas.

13.6.2 Análise Das Metodologias Adotadas Nos Balanços Energéticos

Assim como realizado para o balanço energético nacional, este tópico se propõe a analisar o tratamento de cada cadeia energética dentro dos três principais setores do balanço: oferta, setor de transformação e consumo final referente às instituições internacionais.

13.6.2.1 Oferta De Energia

13.6.2.1.1 Produção Doméstica De Energia

- Calor e eletricidade

Tanto a IEA como a Eurostat e a ONU empregam a metodologia para a contabilização da produção de calor e eletricidade escolhendo o ponto mais próximo possível do começo do fluxo de energia da cadeia e utilizam também o método de conteúdo energético para contabilizar a energia hidráulica transformada em eletricidade (PEDERNEIRAS, 2007).

Já a Olade faz uso de uma técnica bastante particular que considera a energia vertida. Este método consiste no uso de uma equação para estimar o balanço de fluxos de água anuais em uma barragem, expressa a seguir (PEDERNEIRAS, 2007):

$$Q + Q_i = Q_t + (Q_s+Q_g) + (Q_v+Q_f) + Q_e$$

Qi = o estoque inicial na represa no início do mês de janeiro dividido pelo número de segundos em um ano, ou seja, 31536000s;

Qe = estoque no final do mês de dezembro;

Qt = o fluxo convertido em eletricidade;

Qs = o fluxo nos vertedouros;

Qg = o fluxo nas comportas;

Qv = o fluxo evaporado;

Qf = o fluxo de infiltração.

Após determinar o fluxo anual de água é definido o fato r * g * t * h onde (PEDERNEIRAS, 2007):

r - densidade da água;

g - aceleração da gravidade;

t - tempo em horas/ano;

h - altura da queda em metros.

Multiplicando a equação do balanço de fluxo de água por este fator rgth, chega-se a uma equação equivalente em KWh, e os termos desta podem ser interpretados como um balanço de energia do seguinte modo (PEDERNEIRAS, 2007):

- Produção = (r * g * t * h) * Q
- Não aproveitada = (r * g * t * h) * (Qs + Qg)
- Estoques = (r * g * t * h) * (Qe – Qi)
- Transformação = (r * g * t * h) * Qt
- Perdas = (r * g * t * h) * (Qv + Qf)

Além disso, a eletricidade gerada a partir da energia hidráulica é dada pela multiplicação da eficiência pelo valor de transformação. Se os fluxos não forem conhecidos, a eficiência é estimada em 80% e a transformação é considerada igual à produção (PEDERNEIRAS, 2007).

Analisando – se essa metodologia, verifica-se que esta é interessante para os países onde a hidroeletricidade tem grande participação, como é o caso do Brasil, pois o seu uso admite verificar o impacto de grandes volumes de água na matriz energética (PEDERNEIRAS, 2007).

O que se pretende ao mensurar os volumes de água na represa e também os vertidos é avaliar o quanto esses aspectos podem interferir na composição da matriz energética de um país.

Já as instituições IEA, Eurostat e ONU não abordam detalhes que seriam de relevante importância para o entendimento das matrizes energéticas com grande peso de hidroeletricidade (PEDERNEIRAS, 2007).

Por fim, no que diz respeito à aglomeração das fontes, a ONU soma toda a eletricidade proveniente das fontes primárias - nuclear, hidráulica, eólica, mares, ondas e solar – em uma única coluna denominada "Eletricidade". As outras instituições separam essa eletricidade primária em colunas, possibilitando uma melhor visualização de cada fonte e permitindo analisar como cada uma irá compor a respectiva matriz energética, mostrando-se como uma opção mais válida (PEDERNEIRAS, 2007).

- Carvão Mineral

A metodologia Eurostat especifica em sua matriz do balanço energético as seguintes colunas a respeito do carvão mineral: "carvão", "*patent fuels*", "coque", "linhito", "briquetes", "alcatrão", e os gases combustíveis derivados estão agrupados na coluna intitulada "gases derivados" (PEDERNEIRAS, 2007).

Já a metodologia IEA apresenta um nível muito alto de agregação o que vem a prejudicar a visualização e a análise da cadeia do carvão. Na coluna "carvão", encontra-se agregados todos os energéticos relacionados ao carvão, sejam eles primários ou secundários. Estes agregados são: o carvão, o linhito, *patent fuels*, o coque, o gás de coqueria, o BKB ou briquetes de carvão marrom, o gás de alto forno e turfa (PEDERNEIRAS, 2007).

A metodologia Olade adiciona os coques de petróleo e de carvão mineral em uma mesma coluna intitulada "coque". Os gases de alto forno e de coqueria são agregados aos gases de cidade, refinaria e biogás na coluna "gases" (PEDERNEIRAS, 2007).

Algo importante a ressaltar é que a incorporação do biogás à coluna "gases" juntamente com outros gases prejudica a análise do uso e impacto das fontes renováveis na matriz elétrica do país, o que dificulta também o desenvolvimento de políticas de elevação do uso das energias renováveis.

A metodologia ONU também soma vários energéticos em uma mesma coluna, dificultando as possíveis análises de cada energético. Assim, na matriz do balanço da ONU na coluna "*hard coal, lignite and peat*" estão agregados os carvões de coque, betuminosos, antracitos, linhito e turfa. Na coluna "*briquettes and cokes*" são contabilizados os *patent fuel*, briquetes de linhito e turfa e os coques e na coluna "*derived gases*" são incluídos os gases de cidade, de coqueria e de alto forno (PEDERNEIRAS, 2007).

- Renováveis e Resíduos

A IEA e a Eurostat classificam fontes renováveis como a energia vinda a partir de processos naturais cuja reposição ocorre de forma constante ao longo do tempo. A metodologia Olade conceitua a energia renovável como aquela que não é fóssil, com baixo teor de carbono e períodos de formação relativamente curtos (PEDERNEIRAS, 2007).

Conforme as metodologias IEA e Eurostat registram, as fontes renováveis e os resíduos são classificados em três grupos. São eles (PEDERNEIRAS, 2007):

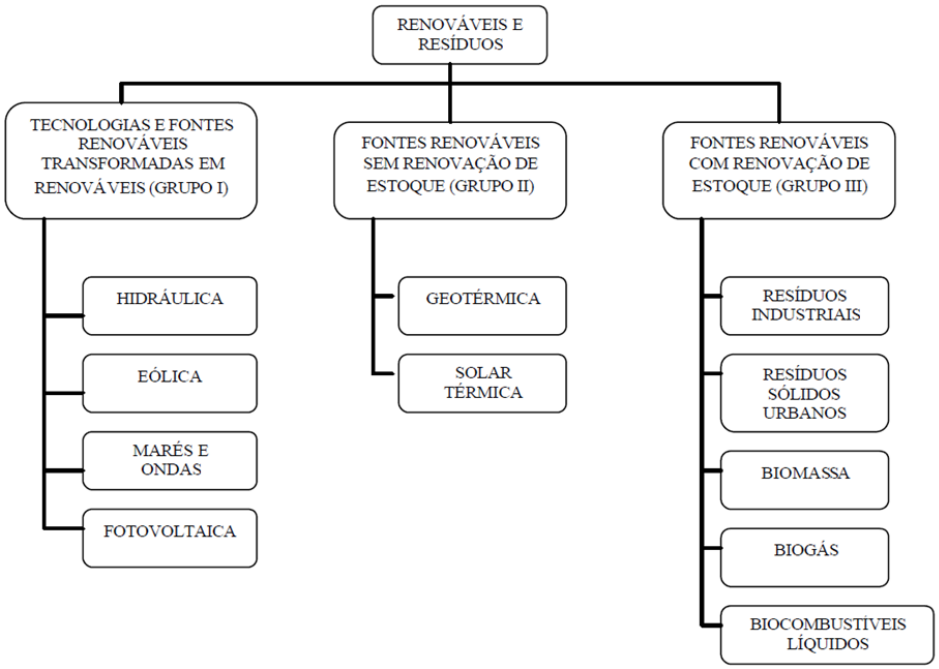
- Grupo I – Neste grupo são alocadas as fontes que necessitam serem transformadas em eletricidade para oferta de energia primária, como a energia hidráulica, fotovoltaica, ondas e marés.

- Grupo II – O grupo II engloba as fontes que possuem os mais variados usos no setor de transformação e consumo final, mas que não podem ser estocadas de maneira convencional. Essas fontes correspondem às fontes solar térmica e geotérmica.

- Grupo III – Este grupo também engloba as fontes que possuem diversos usos no setor de transformação e consumo final, portanto, devido a sua natureza, estas podem ser estocadas de maneira convencional. Esse grupo é caracterizado pelos resíduos industriais e municipais, a biomassa sólida e os líquidos biocombustíveis.

A figura abaixo exibe a classificação das fontes de energia renováveis e dos resíduos conforme os três grupos:

Figura 13.8 – Classificação das fontes renováveis de energia e resíduos, conforme IEA e Eurostat



Analisando a classificação desses três grupos, pode-se observar que a estrutura da cadeia das fontes de energias renováveis e resíduos sofrem variações. No grupo I a oferta de energia primária consiste na energia elétrica gerada a partir das fontes de energia hidráulica, fotovoltaica, eólica e das ondas e marés. Apesar de a energia obtida a partir dessas fontes não poder ser utilizada diretamente, o setor de oferta de energia no balanço faz a contabilização dessa energia no segmento de produção doméstica de energia para cada fonte. No setor de transformação essa energia é convertida em energia elétrica para consumo final. Como o transporte das fontes desse grupo só pode ser feito na forma de energia elétrica, não existe como contabilizar a importação e exportação, devido a dificuldade de identificar a fonte de energia exportada ou importada na forma de eletricidade (PEDERNEIRAS, 2007).

No grupo II, as fontes correspondentes a ele permitem que sejam transformadas em eletricidade ou utilizadas diretamente para consumo final. A produção doméstica de energia do grupo II é a extração da energia térmica a partir do interior da Terra, energia geotérmica, ou extração da radiação solar, utilização da energia solar térmica. De forma parecida com o que acontece com as fontes do grupo I, a contabilização do comércio externo dessas fontes abrangeria somente quantidades de calor comercializadas internacionalmente, o que é bem difícil de acontecer (PEDERNEIRAS, 2007).

Já as fontes pertencentes ao grupo III abrangem uma série de produtos biodegradáveis e não biodegradáveis a partir do fluxo de resíduos industriais e assim como a produção de biomassa primária ou a conversão de materiais biodegradáveis em produtos de energia secundária também envolve (PEDERNEIRAS, 2007).

Deve-se aqui ressaltar que essa classificação feita pelas instituições IEA e Eurostat serve como apoio para as entidades estatísticas no momento de responderem o questionário para a coleta de informação para a produção do balanço. Portanto, isso não quer dizer que é dessa maneira que os resíduos e fontes renováveis são apresentados na matriz contábil das respectivas instituições.

Na apresentação dos dados das fontes renováveis e resíduos no balanço energético, a IEA apresenta uma coluna para hidráulica, outra para geotérmica e solar e outra que agrega todos os combustíveis renováveis e resíduos. Nesta última coluna, portanto, considera-se a biomassa sólida e produtos animais, gases e líquidos de biomassa e os resíduos municipais e industriais. A biomassa inclui a lenha, os resíduos vegetais, o etanol, os resíduos e materiais animais e a lixívia. Os resíduos municipais compreendem os resíduos gerados pelo serviço público, comercial e setor residencial que são coletados pelos serviços municipais responsáveis e utilizados para geração de calor ou eletricidade. Esta categoria também engloba os resíduos hospitalares, o que significa que há uma parte destes resíduos que não é renovável (PEDERNEIRAS, 2007).

Analisando essa apresentação adotada pela IEA percebe-se que esta agrega variadas fontes, renováveis ou não, sob uma mesma classificação. Porém, no contexto do crescente uso das fontes renováveis de energia e a respectiva importância do seu uso, esse tipo de classificação prejudica o registro dessas fontes e impossibilita o estudo do impacto das fontes renováveis na matriz energética de um país.

Já a metodologia Eurostat apresenta colunas para a energia solar, energia térmica, biomassa, energia eólica e energia hidráulica. A coluna referente à "biomassa" representa os materiais orgânicos que podem ser usados para produção de calor ou eletricidade como a lenha e seus resíduos, biogás, resíduos sólidos municipais e biocombustíveis. É importante destacar aqui que a parte não renovável dos resíduos industriais não é contemplada nessa coluna, o que garante que a coluna "biomassa" inclui somente fontes renováveis (PEDERNEIRAS, 2007).

A metodologia apresentada pela Olade contém as colunas de energia hidráulica, energia geotérmica, energia eólica, produtos da cana, lenha e carvão vegetal (PEDERNEIRAS, 2007).

No que diz respeito à lenha, a metodologia compreende tronco e ramas de árvores, porém exclui os resíduos da atividade madeireira, que são incluídos em "outras fontes primárias". É importante ressaltar que, de acordo com a metodologia Olade, não é contabilizado o consumo de lenha no setor de transformação, como em centrais autoprodutoras e carvoarias, por exemplo. Desta maneira perde-se informação de grande importância, principalmente em países em desenvolvimento, onde o consumo de lenha é bastante expressivo. Quanto à lenha não utilizada em expansão agrícola e construções de barragens, ou seja, aquela vegetação que não foi retirada antes do enchimento do reservatório é considerada na atividade não aproveitada (PEDERNEIRAS, 2007).

Na coluna "produtos de cana-de-açúcar" são contabilizados o bagaço, o caldo de cana e o melaço. Já a coluna "outras fontes primárias" compreende os resíduos animais e vegetais, resíduos industriais, como o licor negro e outras fontes primárias, como solar e dejetos de cidade. Por fim, o álcool etílico é agregado na coluna "gasolinas/álcool", juntamente com as gasolinas de motor e de aviação, gasolina natural e metanol (PEDERNEIRAS, 2007).

Na metodologia Olade, devido ao fato de se agregar diversas fontes energéticas em uma mesma coluna, deve-se atentar para o peso que estas venham a ter na matriz energética do país. Caso alguma dessas fontes agregadas venha mostrando grande influência no cenário energético e econômico seria interessante que fosse melhor separá-las, permitindo análises mais específicas e formulações políticas a respeito (PEDERNEIRAS, 2007).

Atualmente isso pode ser visto acontecendo com o álcool etílico, combustível renovável que vem crescendo mundialmente, utilizado como substituto aos combustíveis fósseis. Agregá-lo à coluna "gasolinas/álcool" juntamente com outras fontes fósseis, torna-se algo complicado a fim de desenvolver algum tipo de análise específica.

Caso contrário, não havendo grande expressão na matriz energética, o melhor mesmo é agregar diversas fontes em uma única coluna, a fim de simplificar a visualização do balanço energético.

- Energia Nuclear

Na metodologia das instituições IEA e Eurostat, o calor primário nuclear é o conteúdo energético do vapor de água que deixa o reator nuclear, utilizado tanto para a geração de energia como para atividades de aquecimento e na matriz do balanço dessas metodologias existe uma coluna de calor de origem nuclear. Entretanto, normalmente, esse conteúdo energético de vapor de água que sai dos reatores não é conhecido e deve ser estimado com base na geração bruta de eletricidade e na eficiência média da planta (PEDERNEIRAS, 2007).

Na Olade, a produção de energia nuclear primária é a mesma quantidade de calor obtida do combustível físsil usado no reator. A energia primária considerada não é a do mineral de urânio, mas do conteúdo de material físsil que nutre as usinas nucleares, ou seja, a energia que é consumida no setor de transformação é exatamente a mesma energia primária nuclear (PEDERNEIRAS, 2007).

A energia contabilizada como primária pela metodologia Olade pode ser sobre dimensionada porque nem todo material físsil do interior de um reator será utilizado. Porém, com essa metodologia é possível visualizar o quanto foi importado de combustível nuclear, o que não acontece na IEA e Eurostat, mas o método dessas duas instituições se mostra mais apropriado no que diz respeito à contabilização da energia primária (PEDERNEIRAS, 2007).

13.6.2.1.2 Importação e Exportação de Energia

Para a IEA e a Eurostat, importações e exportações são as quantidades que entram e deixam o país em decorrência das compras e vendas realizadas por pessoas ou agentes que habitam o país. Estas ocorrem quando um determinado energético atravessa a fronteira do território nacional, com ou sem a liberação da alfândega. Assim sendo, quantidades energéticas "em trânsito" pelo país não devem ser consideradas como comércio externo no balanço energético, o que é visto na metodologia Olade, que considera a importação como as fontes energéticas geradas fora da fronteira do país e que ingressam neste para fazer parte da oferta total. Assim também registra a metodologia da ONU (PEDERNEIRAS, 2007).

13.6.2.1.3 Variações De Estoques

As quatro metodologias citadas aqui ponderam as variações positivas e negativas nos estoques de combustível, concordando nesse aspecto. Os estoques avaliados são somente os que têm capacidade de compensar variações na oferta e demanda do setor energético (PEDERNEIRAS, 2007).

13.6.2.1.4 Produtos Recuperados

As matrizes dos balanços da IEA e da Eurostat são bastante semelhantes, mas a Eurostat apresenta em seu setor de oferta uma linha denominada de produtos recuperados, que são os produtos finalizados que passam uma segunda vez pela comercialização, tendo sido recolhidos após o consumo final (PEDERNEIRAS, 2007).

Já a IEA e a ONU contabiliza esse tipo de produto no setor de transformação, sob a classificação de "transferências", enquanto que a Olade não avalia esse item como uma linha específica do balanço (PEDERNEIRAS, 2007).

13.6.2.1.5 Não Aproveitada

Somente a metodologia Olade aborda esse tipo de atividade em sua matriz no setor de oferta, sendo a energia não aproveitada, aquela que não é utilizada em momento algum no setor energético por motivo técnico ou econômico (PEDERNEIRAS, 2007).

13.6.2.2 Setor De Transformação

Os balanços energéticos da IEA, Olade e ONU apresentam em suas matrizes para o setor de transformação a entrada de energia primária e a saída de energia secundária dos centros de transformação na mesma linha. Assim, a energia de entrada é contabilizada com valores negativos e a energia secundária produzida é mensurada com valores positivos. Já o balanço Eurostat divide o setor de transformação em "entrada da transformação" para a entrada de energia primária e "saída da transformação" para a saída de energia secundária. Nesse caso, as quantidades são contabilizadas com valores positivos tanto na entrada quanto na saída (PEDERNEIRAS, 2007).

Os balanços energéticos dessas instituições, exceto o da Olade, também apresentam um segmento de transferência de produtos no setor de transformação para que sejam contabilizados os produtos reaproveitados e para a reclassificação de energéticos em outras categorias (PEDERNEIRAS, 2007).

A metodologia IEA subdivide esse segmento de transferência, denominado *transfers* em três subcategorias. A primeira *interproduct transfers* consiste na reclassificação dos energéticos em outras categorias tanto devido a mudanças na qualidade quanto por mistura a outros produtos. Como por exemplo, pode-se citar a querosene reclassificada como diesel depois de misturada a ele para atender especificações de determinados tipos de diesel (PEDERNEIRAS, 2007).

A segunda subcategoria, *products transferred*, é direcionada para produtos de petróleo importados para posterior processamento em refinarias (PEDERNEIRAS, 2007).

A terceira e última subcategoria denominada *recycled products* é destinada a produtos acabados que retornam a cadeia de comercialização uma segunda vez, depois de terem sido entregues uma vez ao consumidor final (PEDERNEIRAS, 2007).

O balanço da Eurostat assim como o da IEA também subdivide o segmento três subcategorias: *interproduct transfers*, *products transferred* e *returns from petrochemical industry*. As duas primeiras fazem as mesmas considerações que a metodologia IEA faz, porém a última subcategoria trata de subprodutos da produção de etileno e propileno, na indústria petroquímica, a partir da nafta e de outras matérias primas (PEDERNEIRAS, 2007).

Por fim, os balanços energéticos da Eurostat, IEA e ONU avaliam o consumo do setor energético como parte do setor de transformação. A Olade, no entanto, já não considera dessa maneira, pois pondera a transformação como uma matéria prima que se transforma em outra forma de energia, enquanto que o consumo do setor energético é transformado em energia útil como calor e iluminação (PEDERNEIRAS, 2007).

13.6.2.3 Setor De Consumo Final

No setor de consumo final, há a classificação dos consumos energéticos e não energéticos. Para o consumo não energético, a Eurostat os apresenta sob a classificação *Final non-energy consumption*, que é subdividida em indústria química e outros setores. A metodologia Olade também possui linha específica para o consumo não energético. Já a IEA, apresenta o consumo dos não energéticos na linha "uso não energético", que tem três subdivisões: indústria, transporte e outros setores (PEDERNEIRAS, 2007).

Para o consumo final energético, as metodologias Eurostat, IEA e Olade apresentam o setor industrial conforme as definições de atividades econômicas estabelecidas pelo *International Standard Industrial Classification*. Dentro do setor industrial estão inclusas as seguintes atividades: ferro e aço; química e petroquímica; metais não ferrosos; minerais não metálicos; transporte de equipamentos; maquinaria; mineração; alimentos, bebidas e tabaco; papel, celulose e gráfica; madeira e produtos de madeira; têxtil e couro; construção e não especificado (PEDERNEIRAS, 2007).

A metodologia ONU apresenta o consumo final do setor industrial somente pelas linhas "indústria de ferro e aço", "indústria química" e "outras indústrias". É importante registrar que a metodologia da ONU não considera o consumo não energético dentro do consumo final, e sim, dentro do setor transformação. Vale lembrar que a agregação das demais indústrias na linha "outras indústrias" mostra-se como extrapolada, simplificando demais a matriz energética (PEDERNEIRAS, 2007).

No setor de transporte quatro segmentos são detectados pelas metodologias ONU e Eurostat: rodoviário, ferroviário, aéreo e navegação nacional. A IEA ainda considera o transporte energético por dutos. Já a metodologia Olade considera os transportes rodoviário, ferroviário, aéreo, fluvial e marítimo, independente da nacionalidade do veiculo, contanto que este tenha se abastecido dentro do país (PEDERNEIRAS, 2007).

13.7 Considerações Finais

O planejamento para o setor energético é de fundamental importância para garantir o abastecimento e o suprimento de energia contínuo, visando o menor custo e impactos mínimos ao meio ambiente e à sociedade em geral. A falta de tal planejamento pode causar severas consequências ao cenário econômico, como elevação de tarifas, racionamentos da capacidade instalada, produção ineficiente entre outros.

Para que seja possível executar um bom e eficaz planejamento energético, faz-se necessário conhecer e contabilizar a matriz energética de dado país.

Esta é a função do balanço energético, permitir o conhecimento das fontes energéticas utilizadas nos diversos setores econômicos da sociedade e contabilizá-las, de forma a proporcionar o desenvolvimento de análises e políticas direcionadas ao setor energético.

Analisando a evolução da realização dos balanços energéticos, nota-se que na década de 1970, quando se iniciou a preocupação em elaborar os balanços, a base de dados que estes ofereciam para o planejamento energético era totalmente voltado para o setor de eletricidade, carvão e petróleo, enquanto o planejamento das fontes renováveis era praticamente nulo. Nos dias atuais, o que se vê é o uso e desenvolvimento crescente das fontes renováveis, ganhando espaço nos balanços e planejamentos energéticos mundo afora.

Portanto, a execução do balanço energético para o desenvolvimento economicamente viável, ambientalmente sustentável e socialmente justo é extremamente importante, a fim de se conhecer a aplicação da energia, em suas diversas formas, no uso em diferentes setores, no serviço final que se deseja atender, nos reflexos sobre meio ambiente e no esforço da sociedade para assegurar o seu abastecimento.

Capítulo 14: Tecnologias Aplicadas À Geração, Transmissão E Distribuição De Energia: *Smart Grid* e Geração Distribuída[14]

Resumo:

14.1 Sumário Executivo

As Concessionárias do Setor Elétrico enfrentam um grande desafio atrelado à demanda crescente por energia e à legislação do setor cada dia mais exigente. Neste contexto surgem pesquisas relacionadas aos temas *Smart Grid* e Geração Distribuída, conceitos estes que abordam o desenvolvimento de sistemas tecnológicos capazes de solucionar a falta de controle nos pontos de consumo da energia, bem como a busca por alternativas de redução dos custos na geração, transmissão e distribuição da mesma.

Além disso, a tecnologia proposta traria desenvolvimento, inovação e eficiência ao realizar sob uma nova ótica a medição e o monitoramento do uso da energia, que associado aos benefícios da Geração Distribuída potencializaria os ganhamos na otimização das etapas de produção e distribuição da energia.

Sendo assim, o relatório apresenta, sob um enfoque teórico, o funcionamento, particularidades e aplicações do conceito de *Smart Grid* e Geração Distribuída no cenário energético brasileiro e mundial. A fim de se obter maior esclarecimento com relação ao surgimento destes conceitos, propôs-se elencar as especificações técnicas da tecnologia, os impactos gerados com a sua introdução no mercado, a situação atual do Brasil e do Mundo diante do conceito *Smart Grid* e Geração Distribuída, suas principais aplicações e projetos recentes que os envolvam, os entraves ao seu desenvolvimento e o que se espera no futuro.

Este trabalho visa conhecer os caminhos pelos quais o Brasil e o resto do mundo percorrerá para desenvolver e implantar a tecnologia na sua rede elétrica, evidenciando que para isso o governo necessitará planejar políticas públicas consistentes e propostas de incentivo às pesquisas tecnológicas mais agressivas.

14.2Histórico

Desde os primórdios da existência humana o homem experimenta constantes mudanças nas suas necessidades energéticas. Inicialmente sua busca por energia era direcionada a suprir suas demandas mais básicas: alimentação, iluminação e aquecimento. A partir do desenvolvimento das civilizações e do aumento da complexidade das atividades de trabalho, o homem deparou-se com a necessidade crescente de produzir e aperfeiçoar o processo de fabricação da energia. Seus esforços foram direcionados para encontrar novas fontes de energéticas, bem como otimizar a geração, transmissão e distribuição da mesma [1].

Em 1879, Thomas Edison inventou a primeira lâmpada elétrica, experiência que teve contribuição fundamental para a ascensão tecnológica e científica no mundo, neste segmento. Edison foi um dos precursores da revolução tecnológica do século XX, sendo o responsável pela construção das primeiras usinas geradoras de energia em corrente contínua, para atendimento de sistemas de iluminação. Em 1888, aconteceu a primeira transmissão de energia elétrica em corrente alternada, a partir de uma estrutura desenvolvida por Nikola Tesla. Este marco proporcionou a transmissão de energia a grandes distâncias e a sua utilização no uso doméstico [2].

A partir desse cenário o consumo de energia elétrica sofreu um aumento exponencial, com o crescimento da economia, indústria, empresas e consumo residencial. Apesar desse aumento na demanda no setor energético, pouco se avançou em termos de desenvolvimento de novas tecnologias que pudessem aperfeiçoar os mecanismos existentes de geração, transmissão e distribuição da energia. Na verdade, pouco se avançou no cenário energético após o descobrimento da eletricidade [1].

[14] Trabalho realizado pela estagiária Mônica Mabub, em 2013.

Neste contexto de demanda crescente por energia e utilização não controlada da mesma, surgiu-se a necessidade do desenvolvimento de um conceito tecnológico que pudesse solucionar a falta de controle nos pontos consumidores da energia bem como a busca por alternativas de redução de custos na geração, transmissão e distribuição da mesma.

A tecnologia proposta para alcance de tal objetivo é denominada Smart Grid, conceito este que aborda uma nova maneira de medir e monitorar o uso da energia, que, associado ao conceito de Geração Distribuída irá potencializar o uso da energia, otimizando as etapas de produção e distribuição da energia elétrica.

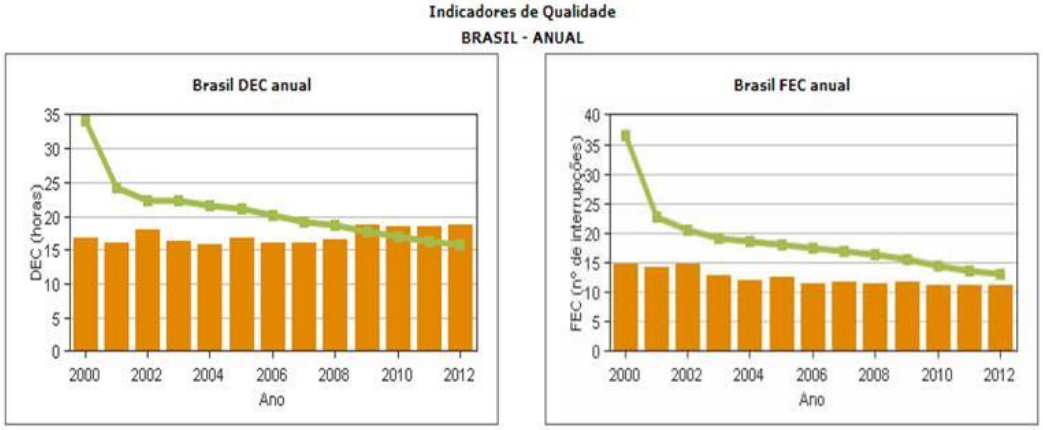
14.3Conceito Técnico

O uso da energia elétrica no país tende a aumentar e para isso é necessário que esse crescimento seja de forma confiável e segura. A melhor forma de usar a energia é incentivar o seu uso de maneira mais racional e para isso faz-se necessário a utilização de medidores eletrônicos que irão dar robustez ao sistema elétrico propiciando tecnologias capazes de dificultar as fraudes e possibilitando a detecção, em tempo real, dos desvios de energia [3].

Há pelo menos 10 anos o sistema elétrico brasileiro encontra-se em um cenário de estagnação da qualidade da energia distribuída. De acordo com a ANEEL é proposto uma avaliação do serviço elétrico por duas medidas, uma é a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e a outra é Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC). O DEC indica, em média, quanto tempo um consumidor ficou sem energia ao longo de um período definido, enquanto o FEC indica, em média, a frequência das interrupções.

A Figura 14.1 mostra a variação da DEC e FEC ao longo do tempo no Brasil. Observa-se que nos últimos anos não houve uma melhora desses índices e que nos últimos três anos houve uma piora da qualidade da energia. Motivo este que incentiva o desenvolvimento e a instalação das *Smart Grids* [4].

Figura 14.1 – Qualidade de Indicadores da energia elétrica do Brasil ao longo de 12 anos



Fonte: [4]

Diante do cenário de geração e distribuição de energia no país, a ANEEL vê o desenvolvimento do setor como precário e questiona a qualidade do fornecimento de energia. Para minimizar os impactos advindos dessa realidade, identifica-se como necessários investimentos em incentivos às distribuidoras para que procurem soluções viáveis para melhorar o serviço prestado. Neste sentido, as redes inteligentes se configuram como um caminho

que irá aprimorar a geração e distribuição de energia, uma vez que elas proporcionam monitoramento e controle em tempo real, possibilitando intervenções de forma mais rápida e precisa.

Dessa maneira é possível obter uma melhoria na qualidade do serviço das redes inteligentes no Brasil, além de reduzir as perdas significativas que o sistema sofre. Entretanto para o desenvolvimento dessa tecnologia inovadora é preciso ter atenção para os custos decorrentes dessa implantação. É preciso se atentar para a dimensão do país, sua diversificação de fontes de geração de energia, suas diferenças de cobrança por região e outras particularidades do sistema elétrico Brasileiro. Em algumas regiões a implantação das redes inteligentes significa ainda desenvolver toda uma infraestrutura elétrica que a suporte, e em outras a própria universalização do serviço será um desafio.

Logo, é possível que haja somente uma solução viável ao país no atual cenário: parametrização de mecanismos regulatórios que suportem a implementação das redes inteligentes, que estimulada pela troca de medidores, comece pelas áreas prioritárias, observando as restrições e particularidades anteriormente mencionadas. Portanto, o desenvolvimento das redes inteligentes e sua infraestrutura de apoio configuram-se como um projeto de longo prazo [3].

O conceito *Smart Grid* surgiu há pelo menos 20 anos a partir da ideia de Arquiteturas de Redes Inteligentes (*IntelliGrid*) desenvolvida com a Concessionária Americana Southern California Edison (SCE). No entanto só tomou impulso e foi denominada de *Smart Grid* há apenas quatros anos. No ano de 2009 ocorreu um grande avanço para a sua implementação, quando o Presidente Obama liberou mais de US$ 8 bilhões do programa de Reinvestimento e Recuperação da Economia Norte-Americana e fundos originários da indústria para o desenvolvimento da tecnologia *Smart Grid*. Desde então várias concessionárias de energia desenvolvem programas pilotos para o estudo da mesma [5].

No mesmo ano foi criado um Comitê Gestor dentro do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) a fim de direcionar as políticas internacionais voltadas para a área de *Smart Grid*. Desde então se iniciou o projeto de energia inteligente dentro do IEEE direcionado, primeiramente, para coleta de informações já existentes em termos de conhecimentos publicados, em artigos científicos, periódicos e conferências. O trabalho foi agregar todo o conhecimento pré-existente e acertá-lo dentro das definições do *Smart Grid*, que também não eram muito claras na época [5].

Segundo o IEEE define-se *Smart Grid* como sendo a integração das camadas de energia, automação, controle e telecomunicação na criação de um sistema inteligente de energia com pungente inserção de novas fontes renováveis de energia, tecnologia da informação e comunicações. A *Smart Grid* se configura, portanto, como um conjunto de tecnologias que utiliza sistemas de informação, atrelado às redes de energia, proporcionando uma leitura inteligente ao indicar em tempo real e remotamente à quantidade exata consumida e a qualidade da energia distribuída [5].

O seu surgimento provém não só do aumento na demanda de energia, mas também pelo aumento na qualidade e na variedade dos serviços oferecidos aos consumidores. Outro ponto motivador ao desenvolvimento da *Smart Grid* é o custo dos apagões, que nos anos de 2001 e 2002 tiveram um impacto de R$ 45,2 bilhões para os brasileiros [6]. As melhorias no sistema elétrico são inevitáveis e sua viabilização se dará por meio do desenvolvimento de sistemas de comunicação inteligente que oferecerão maior gestão da eficiência na rede elétrica.

A *Smart Grid* engloba a instalação de sensores na rede elétrica que revelam informações importantes sobre os dados de consumo da energia. Quando esses dados são interpretados de maneira significativa (alterações no perfil de consumo), o sistema retorna a informação para um ponto de controle permitindo a análise da situação e

possibilitando interferências a fim de melhorar o desempenho da rede. Os pilares tecnológicos da *Smart Grid* podem ser entendidos sob quatro esferas diferentes: medição eletrônica, comunicação, sensoriamento e computação [7].

A medição inteligente (*Smart Metering*) é um movimento associado à evolução tecnológica e está introduzida no contexto da distribuição de energia elétrica. A *Smart Metering* é uma das etapas para a implantação de uma *Smart Grid*, sendo composta pelas seguintes características [8]:

- Medidores elétricos com capacidade de armazenamento, processamento e comunicação dos dados;
- Medidor inteligente que permite uma bidirecionalidade que torna possível extrair valores a partir de duas vias de comunicação em suporte de tecnologias distribuídas e participação dos consumidores;
- Software que permite analisar as informações de forma segura e inteligente.

Os medidores eletrônicos inteligentes possibilitaram uma nova maneira de se comunicarem com os outros equipamentos instalados na rede. Configurar-se-á a comunicação bidirecional, provendo as concessionárias de informações atualizadas para prevenção ou mitigação de problemas relacionados ao fornecimento de energia elétrica [8].

O sensoriamento ao longo de todo o sistema de distribuição de energia é imprescindível para o funcionamento pleno das redes inteligentes. Os sensores serão os responsáveis por enviar corretamente os dados da rede elétrica aos sistemas de controle das concessionarias, dotando-as das informações necessárias para contornar possíveis problemas [8].

Por fim, a computação se fará necessária em meio ao desenvolvimento das redes inteligentes devido ao aumento efetivo de dados recebidos por todos os equipamentos do sistema elétrico. A disponibilidade de tantos dados na rede pode tornar a leitura confusa e piorar a situação atual da rede. Neste sentido os avanços computacionais se fazem necessários ao sistema, operando como um filtro de dados [8].

Outro pilar para o desenvolvimento de uma *Smart Grid* é a Geração Distribuída. A forma convencional de geração de energia é centralizada, onde uma grande fonte geradora de energia, como termelétricas ou hidrelétricas, alimenta as linhas de transmissão e distribuição para que a energia chegue até o consumidor final. A Geração Distribuída é uma central de geração pequena o suficiente para estar conectada diretamente à rede de distribuição e próxima do consumidor. Pode estar formalizada sob duas óticas [9]:

- Fonte de energia: configurada quando a Geração Distribuída representa a fonte principal de energia;
- Reserva descentralizada: configurada quando a Geração Distribuída é utilizada para suprir as necessidades de excesso de demanda e apagões.

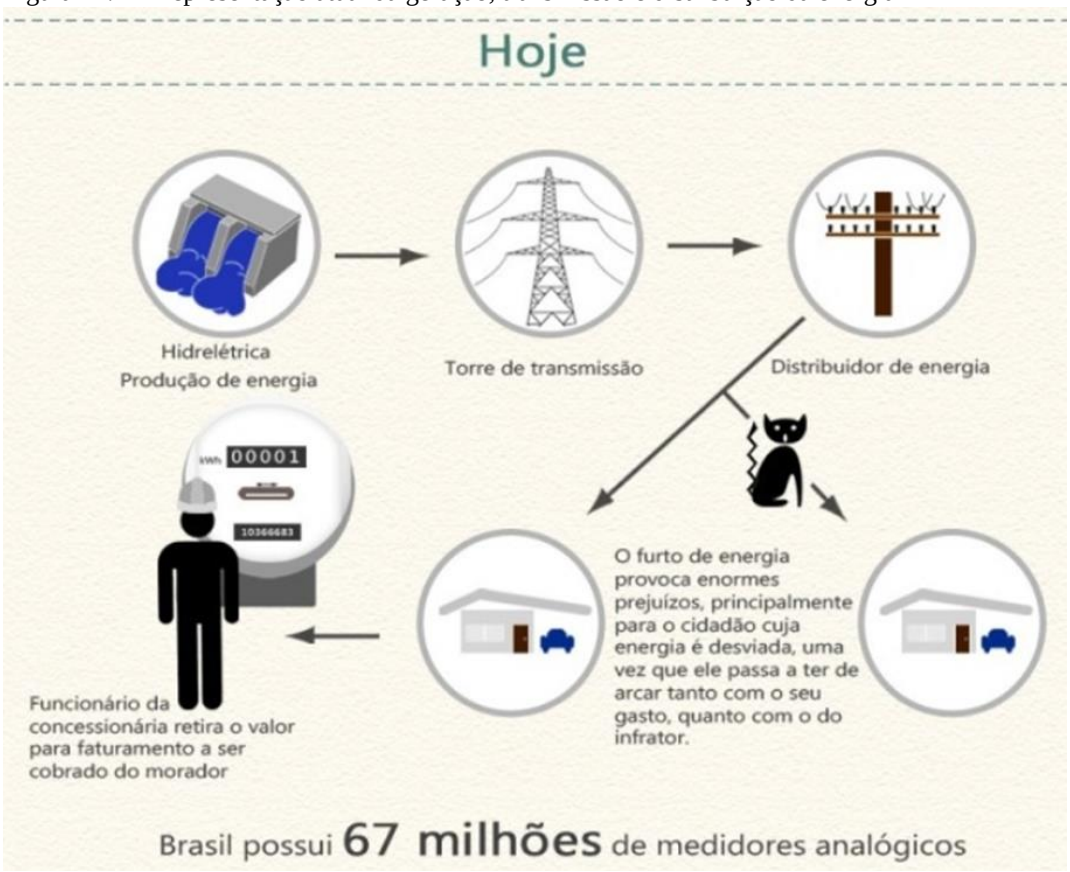
Dentre as tecnologias empregadas na Geração Distribuída a partir de fontes incentivadas de energia, destacam-se a Pequena Central Hidrelétrica (PCH), Biomassa, Eólica, Solar Fotovoltaico, Resíduos Urbanos e Cogeração Qualificada.

Assim, a *Smart Grid*, ou simplesmente rede inteligente, não se fixa num só conceito, mas todas as abordagens sobre o assunto convergem em uma única direção: a *Smart Grid* utiliza uma gama de dados digitais associados à

rede elétrica que possibilitam maior confiabilidade e controle na utilização da energia. Ele propõe uma nova disposição da rede em sistemas abertos, que permite a troca de informações de forma a gerenciar o monitoramento da rede elétrica. A partir da substituição de medidores eletromecânicos por eletrônicos e inteligentes, os pontos de consumo da energia estariam livres de fraudes, roubos, além de proporcionar às concessionárias maior controle na distribuição energética [8].

O caminho unidirecional percorrido pela energia é iniciado numa fonte primária, onde é captada e direcionada às linhas de transmissão elétricas. Essas linhas se dividem em subestações a fim de reduzir a tensão passada na mesma. Das subestações, a energia é transferida localmente para transformadores que reduzem ainda mais a tensão ao nível de consumo. Portanto, analisando o cenário de geração, transmissão e distribuição de energia no Brasil, constata-se que este é defasado, como evidenciado na Figura 14.2.

Figura 14.2 – Representação atual da geração, transmissão e distribuição da energia

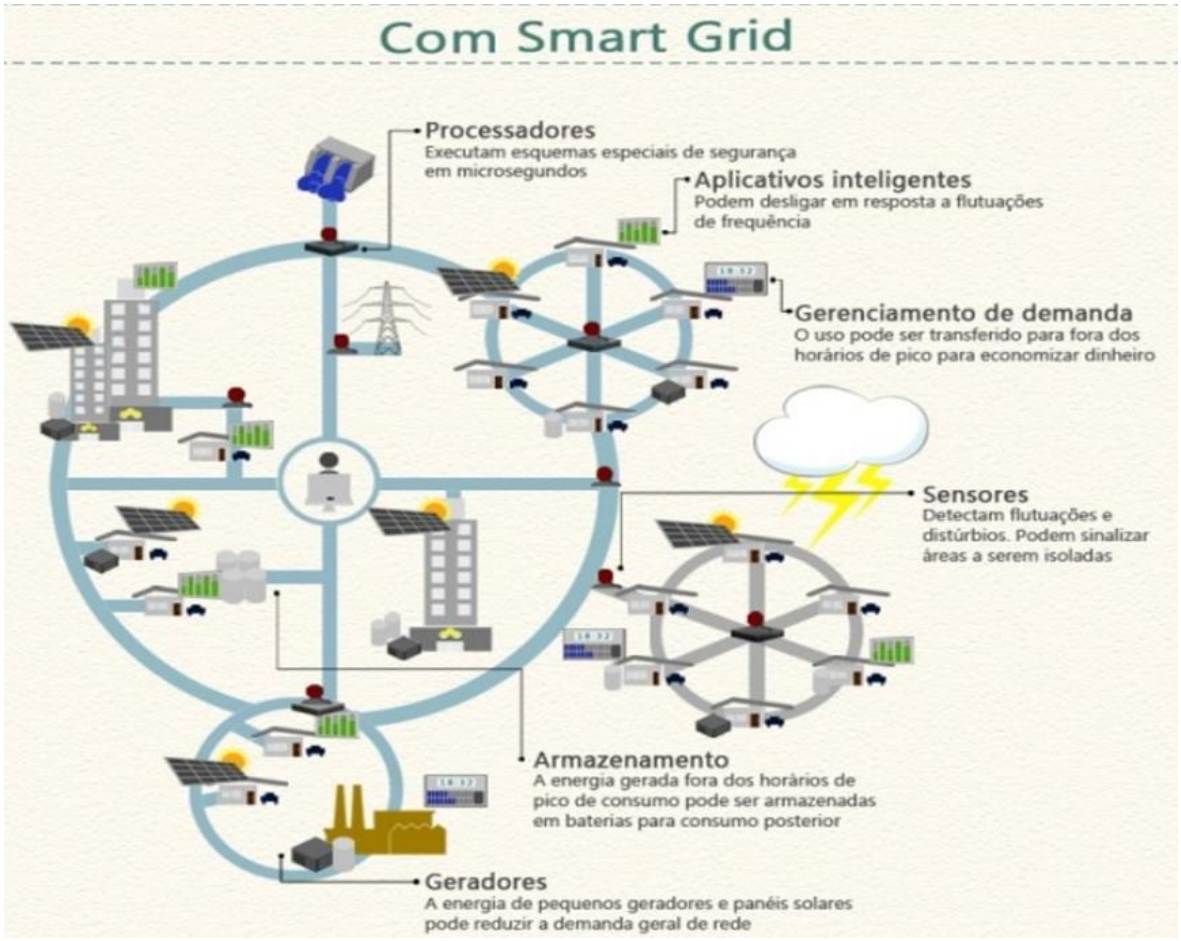


Fonte: [10]

Portanto, analisando o cenário de geração, transmissão e distribuição de energia no Brasil, constata-se que este é defasado. Esse fluxo unidirecional vivencia perdas energéticas da ordem de 15% a cada 100 kW produzidos entre a geração e o consumo da energia, conforme afirma o Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE), do Ministério da Ciência Tecnologia e Informação (MCT). Além desse cenário, o sistema de aferição do consumo é arcaico, configurando-se por relógios analógicos e coleta não automatizada dos dados, o que possibilita enormes margens de erros [11].

Por estes motivos o desenvolvimento de uma rede inteligente de energia é assunto recorrente no panorama energético atual. A implementação dos conceitos de *Smart Grid* e Geração Distribuída possibilitará uma nova realidade de distribuição e consumo da energia ofertada. Com as novas redes automatizadas e sensores de medição, elimina-se o grande percentual de erro no processo atualmente vivenciado, aumentando a eficiência da rede elétrica (Figura 14.3).

Figura 14.3 – Representação da geração, transmissão e distribuição da energia em uma rede *Smart Grid*



Fonte: [10]

Segundo o diretor da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), André Pepitone, existe cerca de 180 projetos de P&D no Brasil que totalizam um custo de R$ 415 milhões, sendo que R$120 milhões destes foram investidos no sistema de *Smart Metering*. As concessionárias e grandes distribuidoras de energia situadas nas

cidades do Rio de Janeiro, Aparecida (SP), Sete Lagoas (MG) e Parintins (AM) já possuem projetos-piloto no qual vão abrir portas para a nova tecnologia, revolucionando assim o setor elétrico brasileiro [11].

14.3.1 Impactos Gerados pela Tecnologia

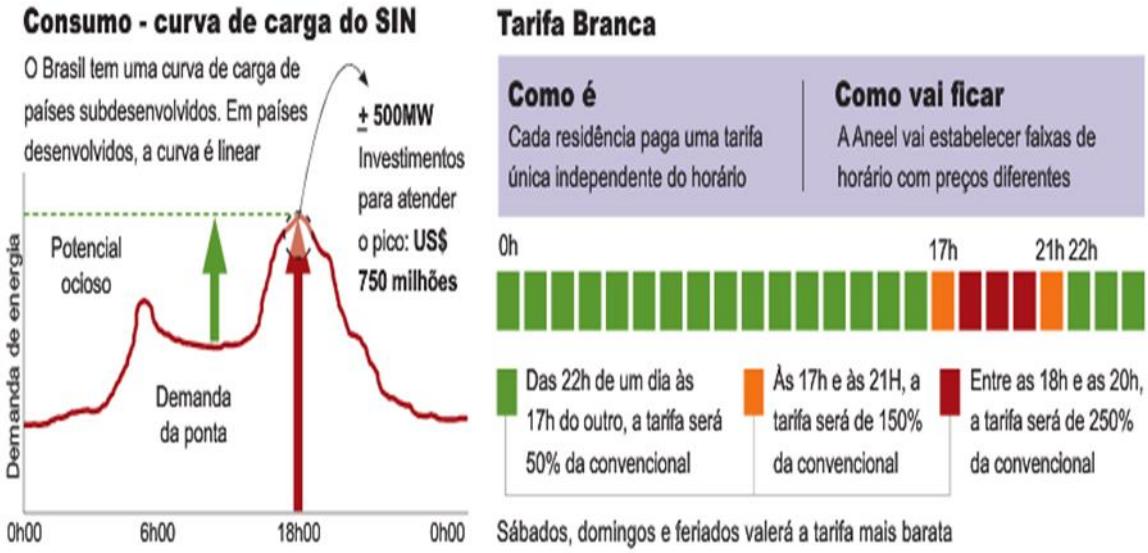
A grande inovação apresentada pela *Smart Grid* é o uso de "inteligência". Com os novos desenhos das redes elétricas associadas ao uso de medidores de qualidade o consumidor final vivenciará uma nova maneira de desfrutar os benefícios que o desenvolvimento tecnológico pode trazer.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) já realizou algumas audiências públicas para discutir o modelo de medidor a ser adotado e as regras de uso do mesmo. Formalizou que em toda substituição de medidores antigos defeituosos será utilizado o novo medidor inteligente [12]. Assim, o Governo Brasileiro obrigará as concessionárias de energia a instalar medidores inteligentes em aproximadamente 69 milhões de residências atendidas pelo sistema atual. Essa troca pode demorar de 10 a 15 anos, estima o gerente da ECIL, Luiz Eduardo [11].

A partir da substituição dos medidores analógicos pelos modelos inteligentes a maneira como ocorre à tarifação energética deverá ser alterada. O modelo proposto pela ANEEL denomina-se Tarifa Branca, onde os consumidores seriam alertados das variações de preços decorrentes de variações na demanda e consequente exposição da rede. Em suma, a Tarifa Branca pretende estimular o consumo de energia em horários que há menor exposição da rede elétrica, ou seja, entre os horários das 22 horas de um dia às 17 horas do outro dia [11].

Desta maneira, tanto o consumidor quanto as distribuidoras de energia se beneficiariam, por reduzir o valor da fatura e por sentir menor necessidade de expansão e fortalecimento da rede para atendimento em horários de pico, respectivamente. Portanto, a Tarifa Branca (Figura 4) precificará valor mais elevado nos momentos de maior demanda do que naqueles de menor demanda. A nova tarifa somente vigorará após a substituição dos medidores antigos para medidores eletrônicos [13].

Figura 14.4 – Representação esquemática da estrutura tarifária após implementação de uma rede inteligente



Fonte: [11]

O principal benefício da introdução dessa primeira etapa de uma rede *Smart Grid* é dotar o consumidor de maiores condições de gerenciar e controlar o uso da energia. Já existem softwares em desenvolvimento que proporcionem o consumidor a ter acesso aos dados de consumo, em tempo real, auxiliando e dotando-o de informações para tomada de decisão.

Assim as *Smart Grids* prometem modificar a estrutura da indústria elétrica, especialmente pelo maior nível de envolvimento com o consumidor da energia. Portanto, os impactos gerados por essa tecnologia podem ser resumidos em: controle da rede em tempo real; maior eficiência energética; gerenciamento da demanda; maior utilização de fontes renováveis de energia; maior processamento de dados munindo as concessionárias de informações estratégicas; e tarifas inteligentes [14].

Outro impacto que poderá ser sentido pelo desenvolvimento das *Smart Grids* é a potencialização da Geração Distribuída. Alguns fatores importantes que contribuem para o crescimento e disseminação da Geração Distribuída são [15]:

- Aumento crescente da demanda por energia elétrica;
- Atenção dada pelas agências reguladoras à qualidade da energia;
- Pressões ambientais em prol de uma mudança na estrutura do sistema elétrico;
- Aumento da eficiência energética, reduzindo às perdas atreladas ao sistema de transmissão da energia.

As principais tecnologias atreladas ao sistema de Geração Distribuída utilizando fontes renováveis são formadas por painéis fotovoltaicos e aerogeradores de pequeno porte e por fontes não renováveis, como por exemplo, sistemas de cogeração. Estas tecnologias são explicadas a seguir.

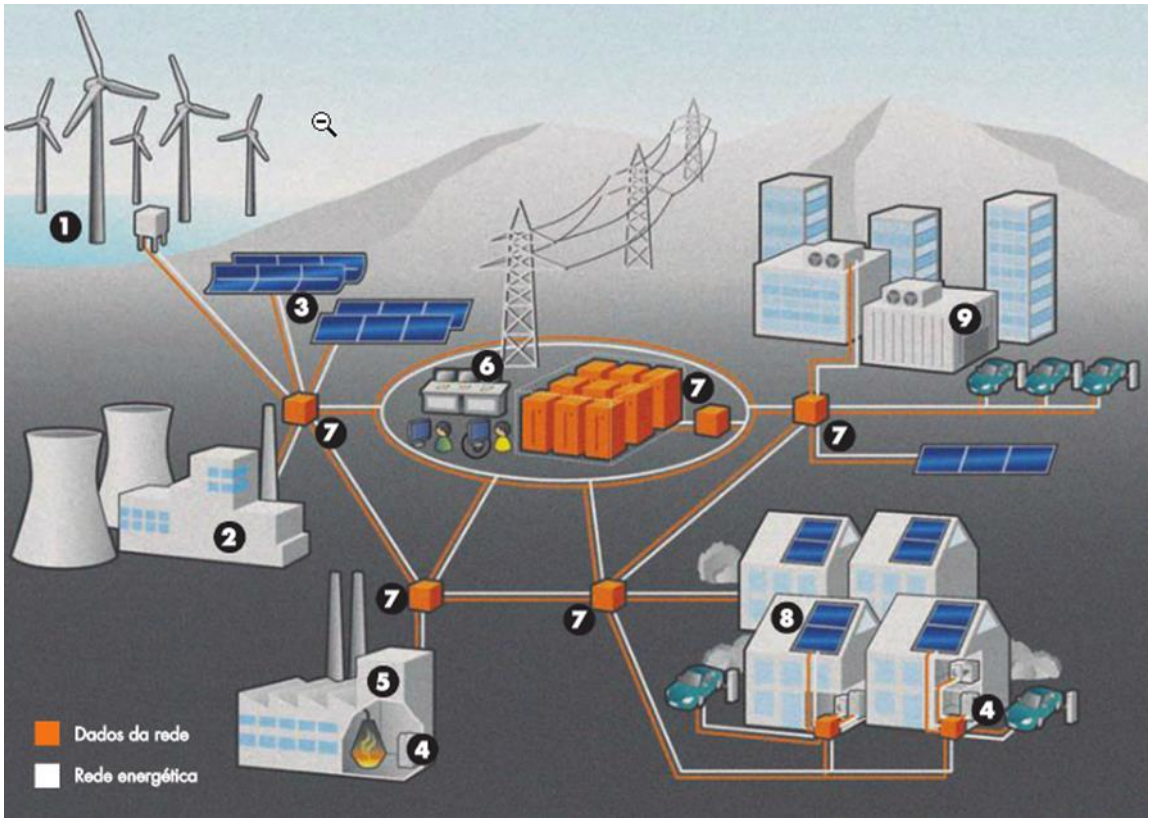
- Painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são compostos por células fotovoltaicas que captam a energia da luz do sol e convergem em eletricidade na forma de corrente contínua. Quando expostos ao sol, os painéis criam uma diferença de potencial em suas extremidades permitindo a alimentação de aparelhos elétricos. É necessário um inversor para converter a corrente em alternada, possibilitando a alimentação na rede e os equipamentos elétricos [16].

A geração por painéis fotovoltaicos se adequa melhor a geração distribuída por apresentar uma baixa densidade energética, característica da geração de pequeno porte (Figura 14.5).

Os sistemas fotovoltaicos conectados diretamente a rede não utilizam o armazenamento de energia e são representados pelas grandes centrais fotovoltaicas. Esses sistemas geram grande quantidade de energia de forma centralizada sendo responsáveis pelo complemento ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectada na rede [16].

Figura 14.5 – Representação esquemática de tecnologias vinculadas ao sistema de geração distribuída

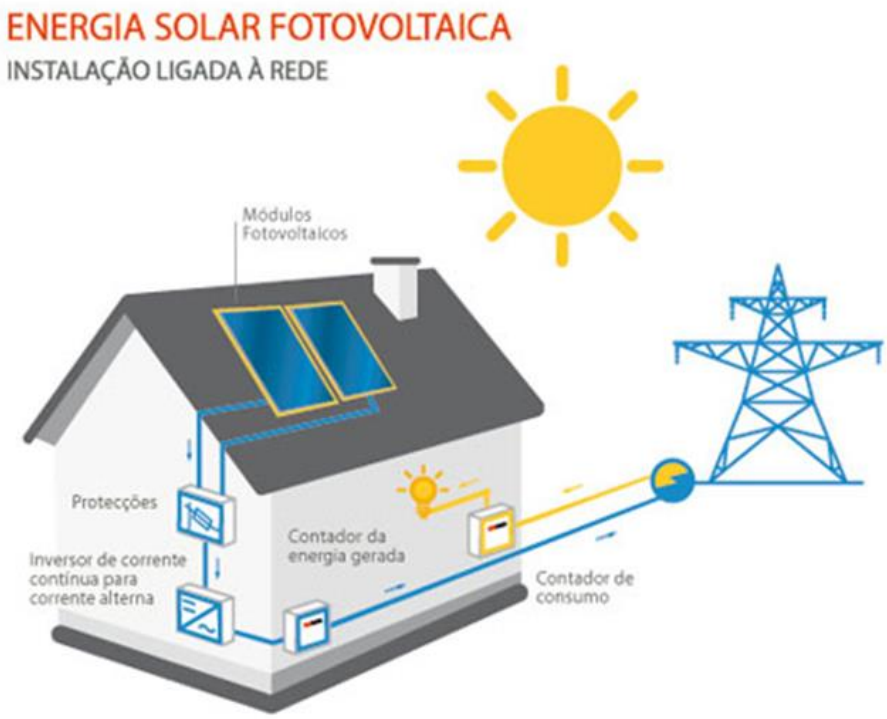


Fonte: [17]

Os sistemas fotovoltaicos conectados diretamente a rede não utilizam o armazenamento de energia e são representados pelas grandes centrais fotovoltaicas. Esses sistemas geram grande quantidade de energia de forma centralizada sendo responsáveis pelo complemento ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectada na rede [16].

Atualmente, muitos sistemas fotovoltaicos geram energia de forma descentralizada, ou seja, no local do consumo. As chamadas microgerações vêm ganhando espaço no cenário atual possibilitando vários projetos sociais para comunidades que não tem acesso a rede elétrica (Figura 14.6) [18].

Figura 14.6 – Sistema de energia fotovoltaica descentralizada



Fonte: [18]

- Aerogeradores de pequeno porte

Outra forma de geração de energia associada à Geração Distribuída são os aerogeradores de pequeno porte. O vento é uma fonte limpa e renovável presente em todos os ambientes. Ele ocorre através do deslocamento de ar ocasionado pelas diferentes pressões atmosféricas causadas pela radiação solar. A geração de energia elétrica acontece devido ao deslocamento dessas massas de ar na superfície terrestre.

O funcionamento de um aerogerador de pequeno porte é o mesmo que de grande porte e acontece pelo contato do fluxo de ar nas pás que provoca a rotação do eixo devido às forças de arrasto e empuxo. A energia cinética que é formada pelas pás é convertida em energia elétrica ao passar pela turbina eólica [19].

Os países que mais utilizam a energia eólica são: a China em primeiro lugar, a Índia em segundo, os Estados Unidos em terceiro seguido da Alemanha que é pioneira junto com a Dinamarca a mais de 20 anos. O Brasil ocupa o 16° lugar [20].

Os aerogeradores de grande porte apresentam grande importância para a geração de energia elétrica, porém, atualmente, fala-se da importância da interligação dos aerogeradores de pequeno porte com a rede elétrica [21]. Alguns países da Europa e Estados Unidos, com o incentivo do governo, já adequam os aerogeradores de pequeno porte ao sistema de geração distribuída produzindo energia limpa para próprio consumo e o excedente jogando na rede (Figura 14.7) [22].

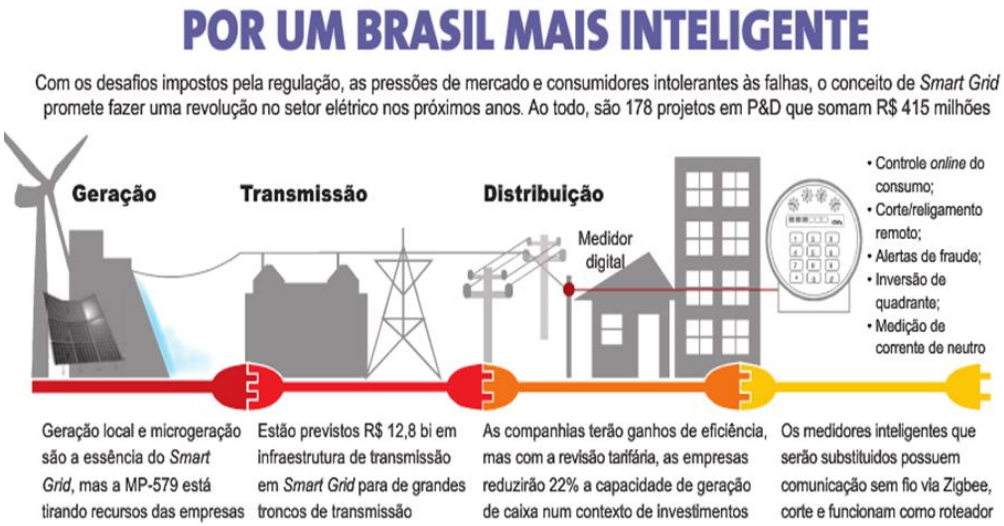
Figura 14.7 – Produção de energia elétrica através de um aerogerador de pequeno porte

Fonte: [22]

Já é realidade nestes países a geração de energia elétrica em casas através dos aerogeradores de pequeno porte. No Brasil, a geração de energia elétrica a partir do vento é mais conhecida através dos grandes empreendimentos.

A partir desse cenário, o Brasil vivenciará uma revolução nos diversos níveis ligados ao setor de energia elétrica. Essa mudança garante o contínuo crescimento do país, aumentando a eficiência do sistema energético, bem como gerando condições de competitividade no mercado elétrico e industrial além da participação da sociedade nas novas políticas e estratégias de serviços e tarifação (Figura 14.8) [11].

Figura 14.8 – Retrato do novo conceito de rede elétrica

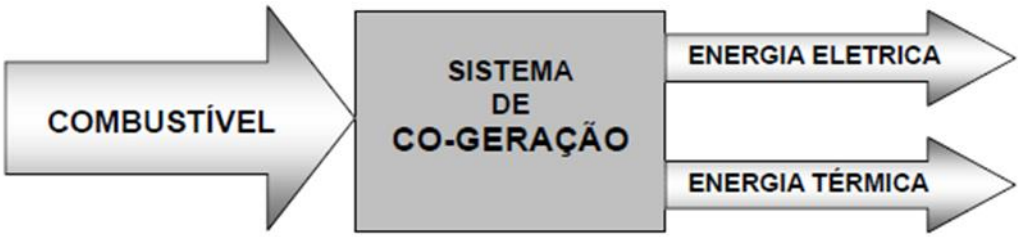


Fonte: [11]

- Cogeração

A cogeração é o método de geração simultânea e combinada de energia térmica e energia elétrica ou mecânica a partir de uma mesma fonte de energia primária (combustível) (Figura 14.9) [23].

Figura 14.9 – Representação esquemática do sistema de cogeração



Fonte: [24]

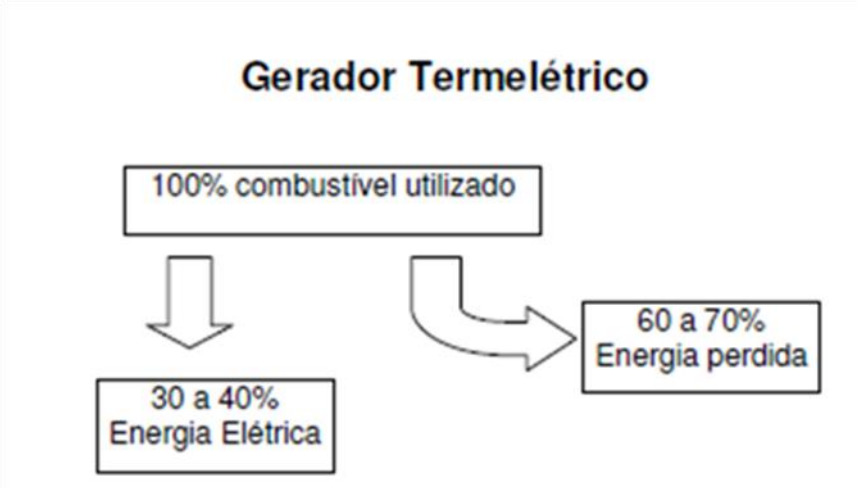
No Brasil e no mundo o processo de Cogeração pode ser dividido em tradicional e moderno. A Cogeração tradicional apresenta como motivação básica a autossuficiência em energia elétrica, utiliza equipamentos de geração predominante como turbinas a vapor e combustíveis residuais como bagaço, cascas, etc. A Cogeração Moderna tem como motivação básica a venda de excedentes e redução de emissões utilizando turbinas a gás e ciclos combinados e todos os tipos de combustíveis, seja fóssil ou biomassa [25].

Os sistemas de cogeração apresentam duas principais características, que ultimamente estão em foco e atraem a atenção dos investidores. Essas características são: alto rendimento, tornando o investimento interessante ao analisar a relação combustível X energia gerada; e descentralização na geração de energia, que é tema discutido amplamente no mercado como uma das alternativas viáveis à solução dos problemas de energia apresentados pelo contexto atual energético [25].

É observada a seguir a comparação entre um sistema convencional de geração de energia termelétrica e um sistema de cogeração quanto ao rendimento de ambos os sistemas.

Um sistema convencional de energia termelétrica apresenta basicamente uma caldeira e uma turbina a vapor. O combustível alimenta a caldeira que será queimado e produzirá vapor a alta pressão. Esse vapor é levado para turbina a vapor que acionará o gerador elétrico. Um gerador termelétrico tradicional apresenta uma grande eficiência, porém a maior parte da energia contida no combustível é transformada em calor e dissipada para o meio ambiente (Figura 14.10) [25].

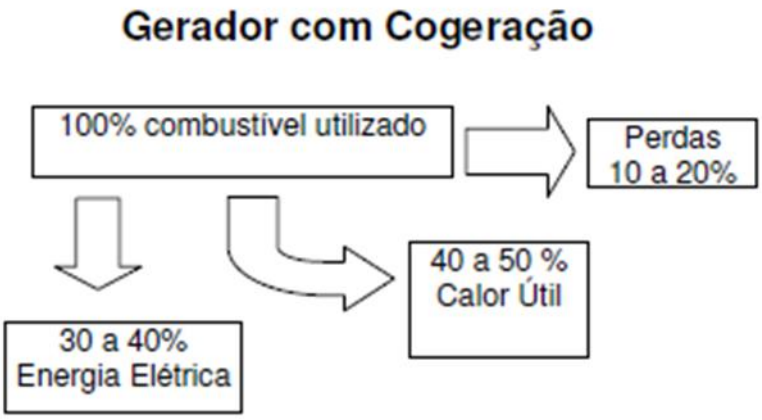
Figura 14.10 – Geração de energia no processo tradicional



Fonte: [25]

Já em um sistema de cogeração (Figura 14.11) o calor gerado não é todo perdido para o ambiente, sendo utilizado para gerar vapor em baixas pressões. Com isso a eficiência do sistema de cogeração é superior em relação ao sistema convencional. É observado na figura a seguir que o calor perdido é bem menor cerca de 10 a 20% de perda enquanto que na figura anterior o calor perdido foi em torno de 60 a 70% [25].

Figura 14.11 – Geração de energia no processo de cogeração



Fonte: [25]

O atual cenário do setor elétrico sofre um período de poucos investimentos em geração e transmissão de energia, impactando em déficits de geração e transporte. Assim, a cogeração, como geração distribuída se apresenta com grande atratividade para os consumidores e sociedade em geral. A cogeração se configura como um sistema de autoprodução de energia elétrica que gera benefícios inquestionáveis aos que a utilizam. O primeiro deles se traduz na redução de custos operacionais.

A participação do valor do consumo de energia elétrica em muitas empresas é grande, desencadeando na sequencia de produção o acumulo desses custos até seu reflexo no valor final do produto. Neste sentido, a possibilidade de aumentar a eficiência no aproveitamento da energia é sempre uma alternativa atrativa. Em segundo lugar a cogeração se firma na confiabilidade sistêmica, pois ela se configura como um sistema de autoprodução de energia. De modo descentralizado e baseado em equipamentos reconhecidamente confiáveis, o fornecimento de energia não está atrelado à rede principal, sujeita a interrupções [24].

14.3.2 Ruptura Tecnológica

O conceito de *Smart Grid* surge como uma promessa de ruptura tecnológica, trazendo inovação e eficiência ao sistema de geração, transmissão e distribuição de energia. Este novo panorama do tratamento e consumo da energia elétrica proporcionará novas maneiras de se gerar energia além de revolucionar a maneira como a rede elétrica é utilizada. Esse é o primeiro passo em direção a um cenário de maior eficiência energética, onde os consumidores poderão controlar informações de tarifação, metas de consumo, corte de cargas, etc. Além disso, as concessionárias de energia, através da comunicação bidirecional das *Smart Grids* supervisionarão os eventos gerais que acontecem na rede.

A *Smart Grid* terá necessariamente o uso conectado a fontes renováveis de energia, principalmente solar e eólica. Ou seja, através da Geração Distribuída a realidade centralizada de geração de energia dará espaço às pequenas centrais produtoras de energia, que darão suporte à demanda crescente da rede elétrica. Neste sentido, as *Smart Grids* baseiam-se em pilares tecnológicos que devem ser desenvolvidos para sua completa operação na rede elétrica, como representada na Figura 14.12.

Figura 14.12 – Os pilares do *Smart Grid* (Adaptado)

Fonte: [26]

A rede inteligente tem grande potencial para liderar um momento de ruptura tecnológica, elevando o sistema de geração, transmissão e distribuição de energia a um patamar mais eficiente e sustentável. Assim, o Estado deve estar atento para se apropriar das novas tecnologias e direcioná-las no caminho de potencializar suas vantagem e facilitar a integração dos cidadãos.

Uma ruptura tecnológica sinaliza uma forte mudança na matriz energética. Neste sentido, no setor elétrico a disseminação de veículos elétricos e híbridos se configurará como uma potencial fonte de ruptura tecnológica.

Os veículos elétricos possuem como principal fator de inserção no mercado o apelo à melhoria da eficiência energética global e a chance de aproveitamento de energia renovável. Estes veículos, integrados ao sistema elétrico associado às Smart Grids contribuirão com carga e geração energética além de fornecer suporte a contingências e melhoria de qualidade da energia [27].

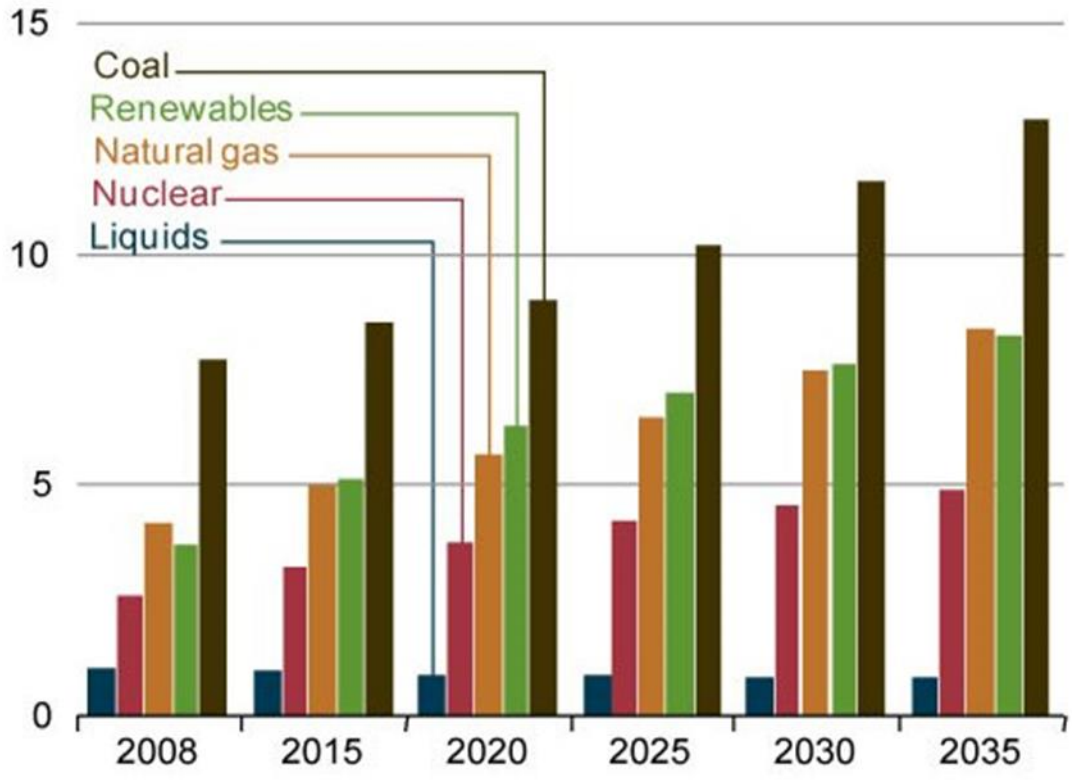
Todo momento que antecede uma ruptura tecnológica é vivenciado com certa apreensão. Embora as pesquisas se avancem nos assuntos relacionados às redes inteligentes, se não houver uma mobilização pública a fim de consolidar uma política clara que assinale os caminhos para financiamento e regulamentação dessa nova tecnologia, o *Smart Grid* continuará restrito às pesquisas científicas no meio acadêmico, seminários, revistas e etc. Portanto, as inovações no setor energético (redes inteligentes e micro gerações) serão um marco importante para a sociedade.

14.4 Situação Atual

14.4.1 Matriz de energia elétrica no mundo

Segundo o U.S *Energy Information Administration* (EIA) as usinas termoelétricas continuam a alimentar a maior parte da energia elétrica em todo o mundo. Em 2008, a geração a carvão foi responsável por 40% do fornecimento de eletricidade (Gráfico 14.1). Sua participação no cenário mundial tende a diminuir com os investimentos em energias renováveis, gás natural, e energia nuclear, embora alguns países desenvolvidos como Alemanha e Japão repensem a política de geração de energia elétrica através de fontes nucleares devido aos eventos históricos recentes [28].

Gráfico 14.1 – IEO 2011 - Geração mundial de eletricidade por combustível

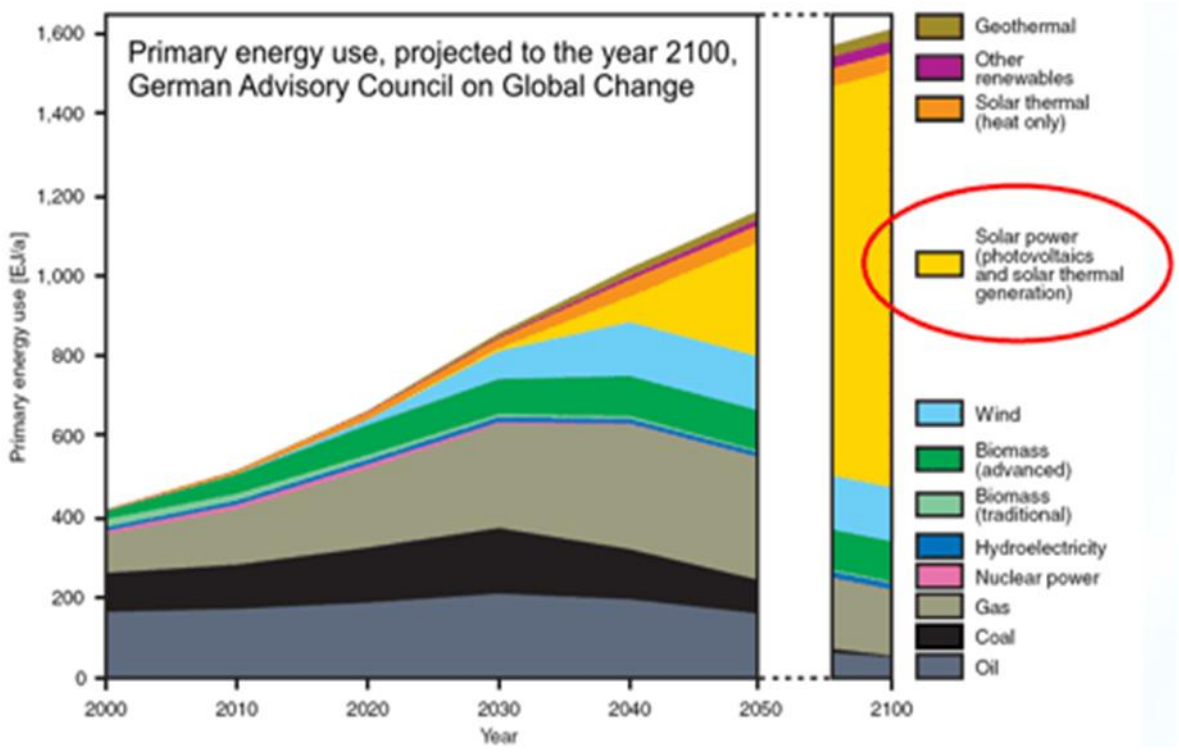


Fonte: [28]

O carvão é a fonte de energia que mais polui no mundo, sendo um dos grandes responsáveis pelo efeito estufa durante seu processo de geração de energia. As várias tecnologias alternativas sem emissões ou com níveis relativamente baixos de emissões atenuam a dependência do carvão para a produção de energia elétrica [29].

O programa de P&D de fontes de alternativas energéticas é fundamental para o avanço de uma economia de energia sustentável. Nos últimos anos o mundo vive a procura por geração de energia elétrica mais limpa, principalmente energias provenientes do vento e do sol. O gráfico 14.2 apresenta a evolução das fontes de energias primárias e sua projeção para o ano de 2100. Nota-se que há uma maior produção em larga escala para a energia solar através dos sistemas fotovoltaicos [30].

Gráfico 14.2 – Consumo de energia primária projetada para o ano de 2100



Fonte: [30]

14.4.2 *Smart Grid* no mundo

A *Smart Grid* está em evolução no mundo inteiro. Os países da América do Norte e Europa têm se destacado internacionalmente quanto à implementação do conceito de energia inteligente.

- Estados Unidos

A partir de 2005, nos EUA, o *Electric Power Research Institute* (EPRI) divulgou a necessidade de uma rede de energia adequada ao futuro, de forma a atender com eficiência, segurança e sustentabilidade o crescimento da demanda pela energia. Em 2009 o congresso americano aprovou o *American Recovery and Reinvestment Act* (ARRA) que consistiu em dotar o país de recursos para estimular a criação de empregos, incentivar o setor agrícola e industrial e estimular a educação, saúde e infraestrutura, incluindo o setor energético para o desenvolvimento da rede elétrica inteligente [31].

Os estados que receberam recurso do ARRA para o setor de energia concentram-se mais a leste dos EUA (Figura 14.13). Contudo, os investimentos em rede inteligente estão bastante difundidos por todo o país. O governo americano está investindo maciçamente neste novo cenário energético buscando maior eficiência na transmissão e distribuição de energia [31].

Figura 14.13 – Investimento em *Smart Grid* nos EUA

Fonte: [31]

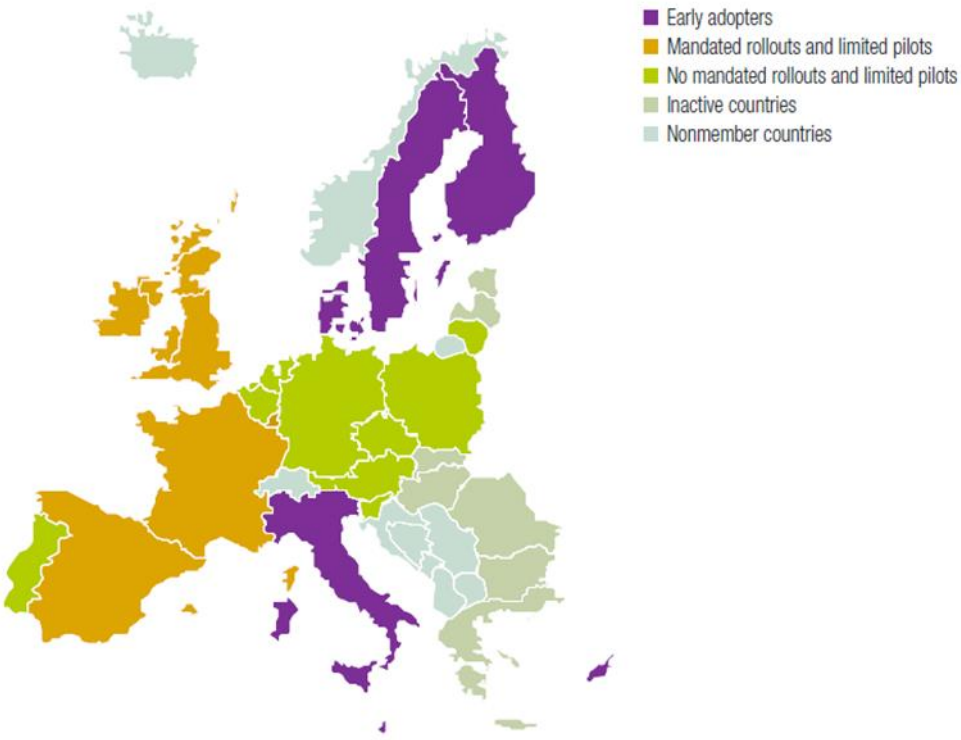
Porém é importante ressaltar que o desenvolvimento da rede inteligente está resultando em conflitos entre consumidores e concessionárias. Muitos consumidores estão insatisfeitos e têm reclamado dos medidores inteligentes, alegando que não estão medindo corretamente e que as contas de luz têm aumentado de valor. De acordo com pesquisas realizadas pelo governo americano, o que têm ocorrido é que alguns medidores apresentam problemas técnicos além da falta de conhecimento acerca da aparelhagem por parte dos consumidores [32].

- Europa

O bloco Europeu é formado por 27 países e possui o maior sistema de distribuição de energia do mundo, beneficiando aproximadamente 430 milhões de pessoas. As redes elétricas da Europa vêm sendo instaladas há quase meio século e até 2030 serão gastos em torno de 500 bilhões de euros em investimentos [31].

A Europa apresenta um programa para implantar medidores inteligentes em todo o seu mercado (Figura 14.14). A Itália foi um dos primeiros países a adotar o princípio da tecnologia inteligente ao instalar os medidores através do projeto *Telegestore Project*, sendo considerada pioneira mundial pela comunidade européia ao empregar a tecnologia de rede inteligente [33]. A concessionária da Itália, ENEL, iniciou em 2001 a instalação de medidores inteligentes para 32 milhões de consumidores permitindo a otimização do fluxo bidirecional de energia elétrica gerada a partir de recursos renováveis em redes de baixa e média tensão [34].

Figura 14.14 – Implementação de Medidores inteligentes na Comunidade Européia



Fonte: [33]

Outros países como Suécia, Finlândia e Dinamarca também fazem parte dos primeiros países a adotarem a tecnologia, iniciando a instalação em massa de novos medidores inteligentes. Os programas encontram-se em andamento e cerca de 50% dos medidores já estão sendo lidos [33].

Na França, Espanha e Reino Unido a instalação dos medidores inteligentes é determinada por regulamentação e projetos pilotos. Os governos determinaram limites para a substituição dos medidores que deverão ser trocados até 2016, 2018 e 2020, respectivamente [33].

A Alemanha e Holanda apresentam-se no grupo de países com projetos pilotos ativos, mas que não possuem a obrigatoriedade para implantação dos medidores inteligentes. A Alemanha pretende eliminar gradativamente a energia nuclear até 2022, depois do acidente nuclear ocorrido em Fukushima. Para isso é necessário aumentar a dependência da energia renovável investindo fortemente em fontes alternativas. No entanto, as fontes eólica e solar são mais propensas a flutuações e deverão ser administradas por meio de redes inteligentes [35].

A Alemanha apresenta programas para implementar medidores inteligentes em todo o seu mercado e projetos pilotos em andamento. Um dos grandes projetos que está sendo desenvolvido pelo governo alemão é o *E-Energy* cujo significado refere-se à interconexão digital com base em um sistema computacional de controle e monitoramento de todo o sistema de abastecimento de energia. O projeto é baseado no sistema de energia do futuro que tem como objetivo interligar de forma eficiente e segura a rede inteligente com todas as fontes de geração, distribuição e consumo [35].

O setor de energia da Austrália busca melhorar e modernizar sua infraestrutura elétrica a partir de novas tecnologias de rede para atender ao crescimento contínuo do consumo de eletricidade de pico e também lidar com uma mudança fundamental na prestação de serviço de energia elétrica em um ambiente de carbono restrito. Cerca de 2,2 milhões de unidades consumidoras irão receber medidores inteligentes. Em 2008 já foram instalados 160 mil equipamentos. O projeto prevê transformar a rede em um sistema de distribuição de energia seguro e confiável, respeitando as questões ambientais [36].

14.4.3 Geração Distribuída no mundo

A Geração Distribuída a partir de fontes alternativas é uma tendência em diversos países do mundo, como EUA, China, Austrália e bloco Europeu. As fontes mais utilizadas nesses países para a Geração Distribuída são: eólica, solar e biomassa, pois apresentam maior quantidade de potência instalada [8].

Os principais mecanismos de incentivo utilizados para a instalação de Geração Distribuída no mundo a partir das fontes renováveis são: a criação de uma tarifa incentivada para cada tipo de fonte (Tarifa *Feed-in*), a adoção do sistema de medição líquida da energia injetada na rede de distribuição (*Net Metering*), o estabelecimento de quotas para a compra de energia provenientes de fontes renováveis, os certificados de Energia Renovável, os Investimentos Público-Financeiros e os leilões públicos de energia (Tabela 14.1) [37].

Tabela 14.1 – Mecanismos de incentivos para a Geração Distribuída

País	*Feed-in tariff*	Quota	*Net metering*	Certificados Energia renovável	Investimento público/ financiamentos	Leilões públicos de energia
Alemanha	X		X		X	
Austrália	X	X		X	X	
Brasil					X	X
Canada	**	**	X		X	X
China	X	X			X	X
Dinamarca	X		X	X	X	X
Espanha	X			X	X	
Estado Unidos	**	**	**	**	**	**
Itália	X	X	X	X	X	
Japão	X	X	X	X	X	
Portugal	X				X	X
Reino Unido	X	X		X	X	

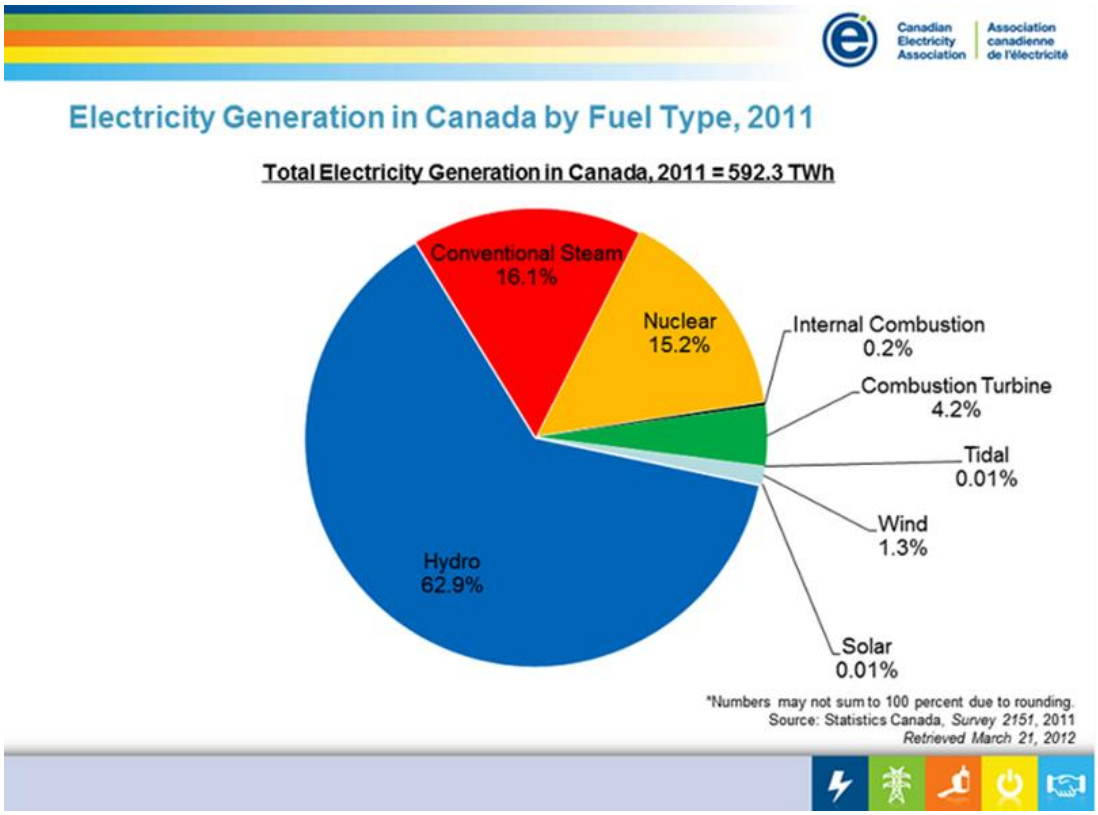
OBS: Os países assinalados com ** significam que alguns estados não adoraram esse sistema.

Fonte: [37]

- Canadá

Segundo o WADE 2006, 12% da capacidade de geração instalada do Canadá vêm de fontes de energias descentralizadas [38]. A hidroeletricidade tem grande importância no setor energético do país respondendo por mais de 60% da geração total de energia elétrica, seguida por vapor convencional e energia nuclear (Gráfico 14.3) [39].

Gráfico 14.3 – Geração total eletricidade no Canadá, 2011

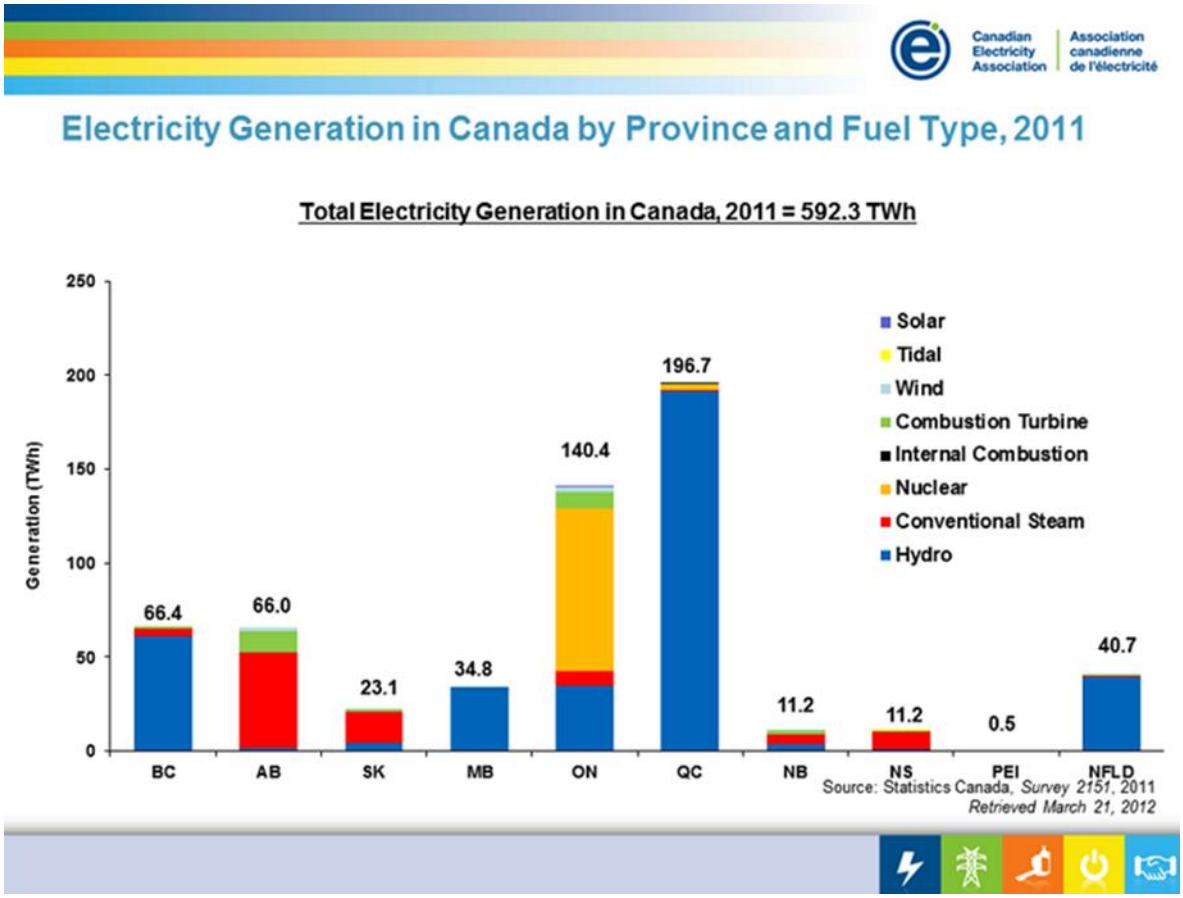


Fonte: [37-39]

O país vem ganhando cada vez mais importância no cenário mundial, investindo fortemente em energias renováveis e tecnologias limpas. O governo canadense prevê para as próximas décadas um investimento no setor energético de 8 bilhões de dólares [28].

Alguns estados como Quebec apresentam projetos para desenvolver 14 GW de energia renovável até 2035. A província de Quebec gerou em 2011 um total de 196,7 TWh de energia, sendo a hidroelétrica a mais utilizada. Enquanto Ontário gerou um total de 140,4 TWh de energia, sendo mais da metade representada pela energia proveniente das marés seguido das hidroelétricas. A província de Ontário investe em programas de Tarifa Feed-in que consiste numa promoção para as centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia para a alimentação da rede. O gráfico abaixo representa a geração de energia elétrica de cada província do Canadá, com um total de geração de 592,3 TWh. As províncias de Quebec e Ontário representam mais da metade da geração total do país, com uma produção de 337,1 TWh [39].

Gráfico 14.4 – Geração total eletricidade para cada província do Canadá, 2011



Fonte: [39]

- China

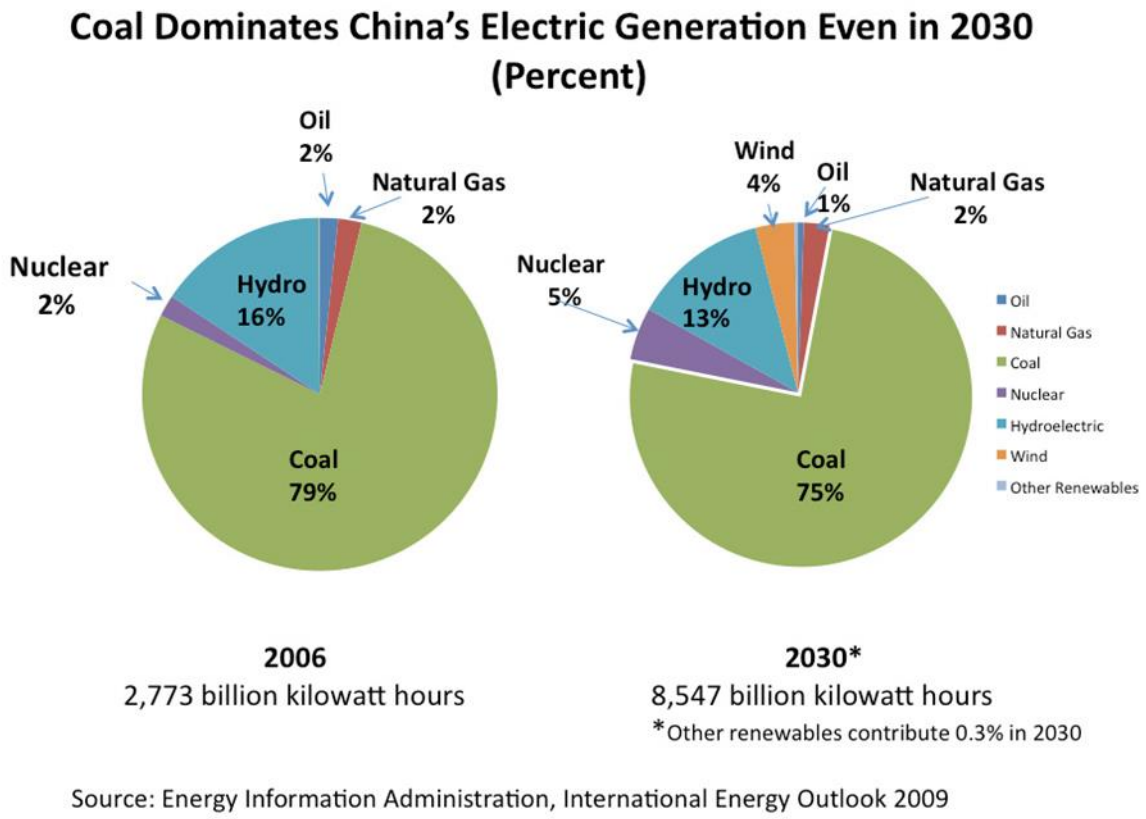
A China é o país que mais consome energia no mundo. A geração de energia elétrica por fontes não renováveis, especialmente carvão, continua sendo predominante no país. A demanda de energia crescente tornou a China influente nos mercados mundiais de energia.

De acordo com a pesquisa realizada pela WADE as formas de energia descentralizada na China são carvão, turbina a vapor e sistema de cogeração. O país está investindo fortemente em energias renováveis, principalmente eólicas, respondendo por metade dos investimentos globais [38].

Em 2010, Pequim investiu 10 bilhões de dólares para projetos internos, de um total mundial de 20,5 bilhões de dólares, ou seja, 50% de todas as turbinas eólicas no mundo que começaram a operar estão localizadas na China. Para a próxima década está previsto um investimento de 620 bilhões de dólares o que significa uma instalação de mais 375 GW de energia renovável no país [40].

Segundo, Ashok Bhargava (especialista em energia da China do Asian Development Bank) o carvão continuará sendo a fonte de energia dominante no país por um longo período de tempo (Gráfico 14.5) [41].

Gráfico 14.5 – Domínio do carvão na produção de energia elétrica na China



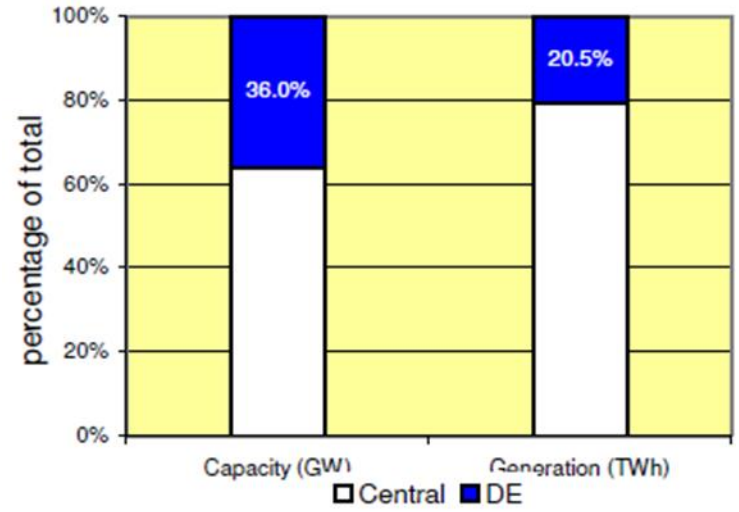
Fonte: [41]

- Alemanha

Segundo a WADE, 2006 a geração de energia elétrica a partir da Geração Distribuída, representa um percentual de 20,5% da geração total do país, com um total de 125 TWh no ano de 2004. Sendo a capacidade total representada por 45 GWe com um percentual de 36% (Gráfico 14.6) [38].

Gráfico 14.6 – Geração e capacidade de energia elétrica descentralizada na Alemanha

Total electricity generation	609.0	TWh
Total electricity capacity	125.0	GWe
DE generation	125.0	TWh
DE capacity	45.0	GWe



Fonte: [38]

Para os próximos anos o governo alemão tem investido fortemente em projetos renováveis, como a construção de parques eólicos *off-shore* e em pequena escala e projetos de geração distribuída como os de energia solar. Atualmente, 16% da energia do país decorrem de fontes renováveis, representando um aumento três vezes maior em relação à década passada [38].

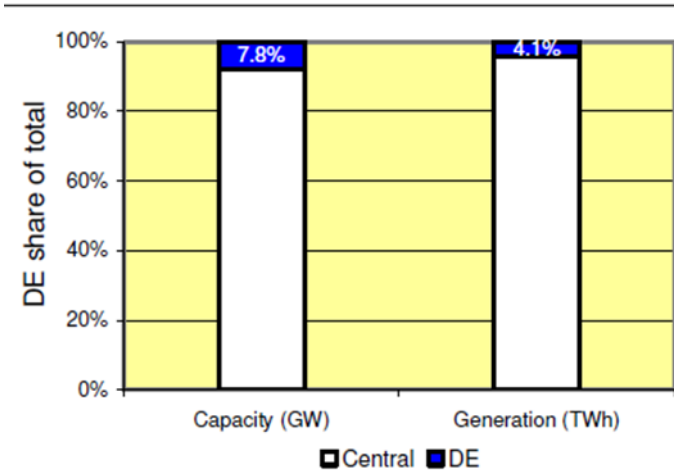
- Estados Unidos

O mercado energético nos Estados Unidos foi dominado por décadas por grandes companhias de fornecimento e usinas de alta potência em geração centralizada. A Geração Distribuída surgiu no país após uma série de eventos na indústria ligado aos assuntos de geração e transmissão de eletricidade correlacionados ao renascimento das tecnologias de cogeração [38].

Segundo a WADE, 2006 a capacidade de geração de energia elétrica no país é da ordem de 82,0 GWe, sendo 92,2% deste proveniente de fontes centralizadas e o restante é fornecido a partir de fontes de geração descentralizadas. Já com relação a geração efetiva de energia a representação da geração distribuída neste cenário era da ordem de 4,1% em 2005 (Gráfico 14.7) [38].

Gráfico 14.7 – Geração e capacidade de energia elétrica descentralizada nos Estados Unidos

Total electricity generation	3,970.6	TWh
Total electricity capacity	1,049.6	GWe
DE generation	162.2	TWh[32]
DE capacity	82.0	GWe



Fonte: [38]

Os Estados Unidos passaram por uma prolongada crise financeira que gerou incertezas no cenário econômico do país. Segundo o relatório da *Ernst &Young* no ano de 2009 a construção de parques eólicos terrestres sofreu uma queda de 70% [40].

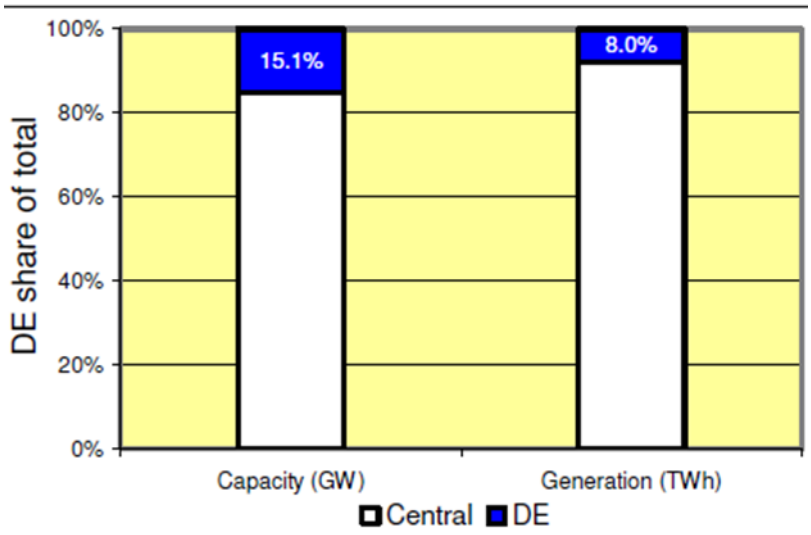
Apesar desse cenário desfavorável o país tem investido em medidas de disseminação do sistema de geração distribuída, entre elas está à criação do Departamento de Energia (DOE) e da Agência de Proteção Ambiental (EPA). Essas instituições comunicaram desafios agressivos para o setor. Em contrapartida o país é refém de contratos de carvão de longo prazo o que atrasa o desenvolvimento de formas mais sustentáveis de geração de energia [38].

- Uruguai

De acordo com a WADE (2006), a capacidade de geração de energia elétrica no Uruguai é da ordem de 0,3 GWe, sendo 84,9% deste proveniente de fontes centralizadas e o restante é fornecido a partir de fontes de geração descentralizadas. Já com relação à geração efetiva de energia a representação da Geração Distribuída neste cenário era da ordem de 8,0% em 2005 (Gráfico 14.8) [38].

Gráfico 14.8 – Geração e capacidade de energia elétrica descentralizada no Uruguai

Total electricity generation	8.4	TWh
Total electricity capacity	2.1	GWe
DE generation	0.7	TWh
DE capacity	0.3	GWe



Fonte: [38]

No Uruguai, três principais fatores são responsáveis por impulsionar a geração distribuída no país: ausência de capacidade para cobrir a demanda crescente por energia; nova lei de eletricidade que permite a participação de empresas privadas fomentando pesquisas neste setor e a redução dos encargos sobre os sistemas alimentados por Geração Distribuída [38].

As principais barreiras ao desenvolvimento são ausência de planos nacionais que englobem a visão sustentável da geração distribuída e do incentivo a alternativas energéticas renováveis e distorções tarifárias para grandes usuários [38].

14.4.4 Matriz de energia elétrica no Brasil

Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG) da ANNEL, atualmente, o Brasil possui um total de 2.779 usinas em operação com uma capacidade instalada de 130.734.772 KW. As usinas de origem hídrica apresentam uma percentagem de 37,64% em relação ao total de usinas e são responsáveis por 69,22% da geração elétrica brasileira (Tabela 14.2) [42].

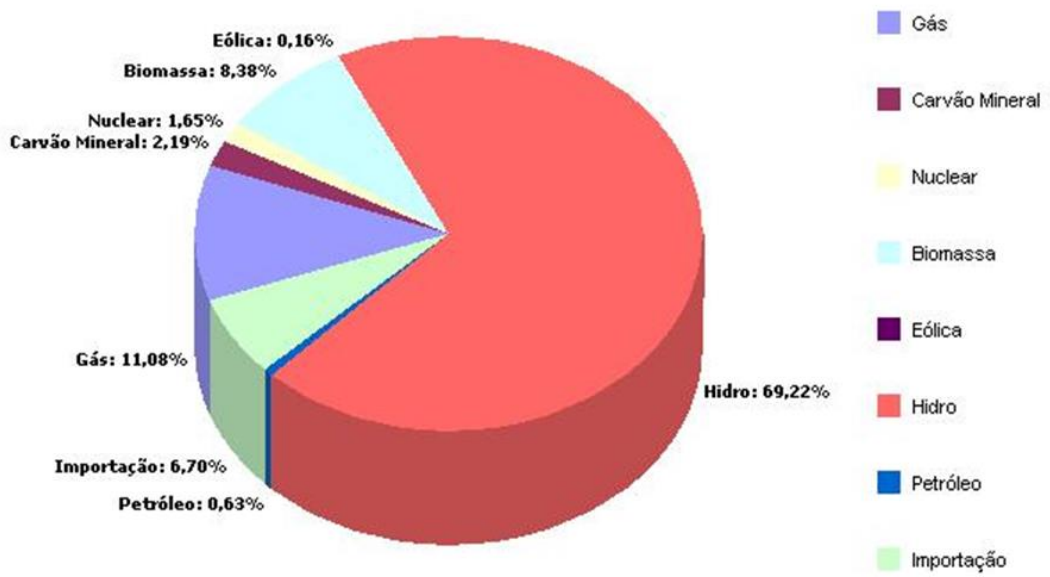
Tabela 14.2 – Matriz de energia elétrica brasileira 2013

Empreendimentos em Operação							
Tipo		Capacidade Instalada		%	Total		%
		N.° de Usinas	(kW)		N.° de Usinas	(kW)	
Hidro		1.046	84.465.099	64,61	1.046	84.465.099	64,61
Gás	Natural	107	11.830.730	9,05	146	13.514.393	10,34
	Processo	39	1.683.663	1,29			
Petróleo	Óleo Diesel	986	3.463.039	2,65	1.020	7.713.686	5,90
	Óleo Residual	34	4.250.647	3,25			
Biomassa	Bagaço de Cana	364	8.487.612	6,49	450	10.223.800	7,82
	Licor Negro	14	1.246.222	0,95			
	Madeira	45	379.235	0,29			
	Biogás	18	74.298	0,06			
	Casca de Arroz	9	36.433	0,03			
Nuclear		2	2.007.000	1,54	2	2.007.000	1,54
Carvão Mineral	Carvão Mineral	12	2.664.328	2,04	12	2.664.328	2,04
Eólica		90	1.964.538	1,50	90	1.964.538	1,50
Importação	Paraguai		5.650.000	5,46		8.170.000	6,25
	Argentina		2.250.000	2,17			
	Venezuela		200.000	0,19			
	Uruguai		70.000	0,07			
Total		2.779	130.734.772	100	2.779	130.734.772	100

Fonte: [42]

Em 2001, as hidrelétricas representavam cerca de 84% da capacidade instalada no país. Em 2013, essa participação caiu cerca de 69% (Gráfico 14.9). Esse fator se deve a diversificação da matriz elétrica em outras fontes de energia, tais como as termelétricas e as usinas de biomassa [42].

Gráfico 14.9 – Matriz de energia elétrica brasileira 2013

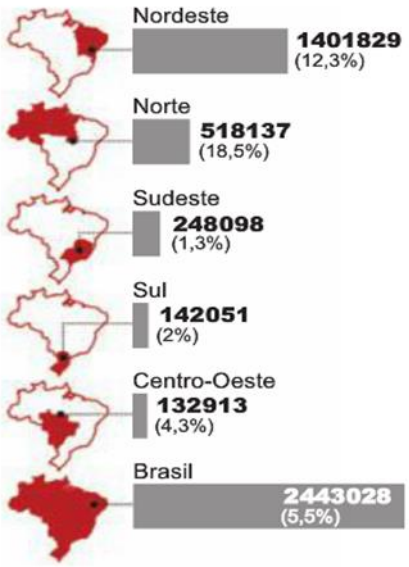


Fonte: [42]

14.4.5 *Smart Grid* no Brasil

O Brasil apresenta um índice geral de atendimento da rede elétrica de 94,53% num total de 42.277.826 domicílios iluminados. Isso significa que aproximadamente 2,44 milhões de casas estão sem luz, valor este que se concentra nas regiões norte e nordeste do país (Figura 14.15) [43].

Figura 14.15 – Total de lares sem ligação legal de energia e participação no total da região

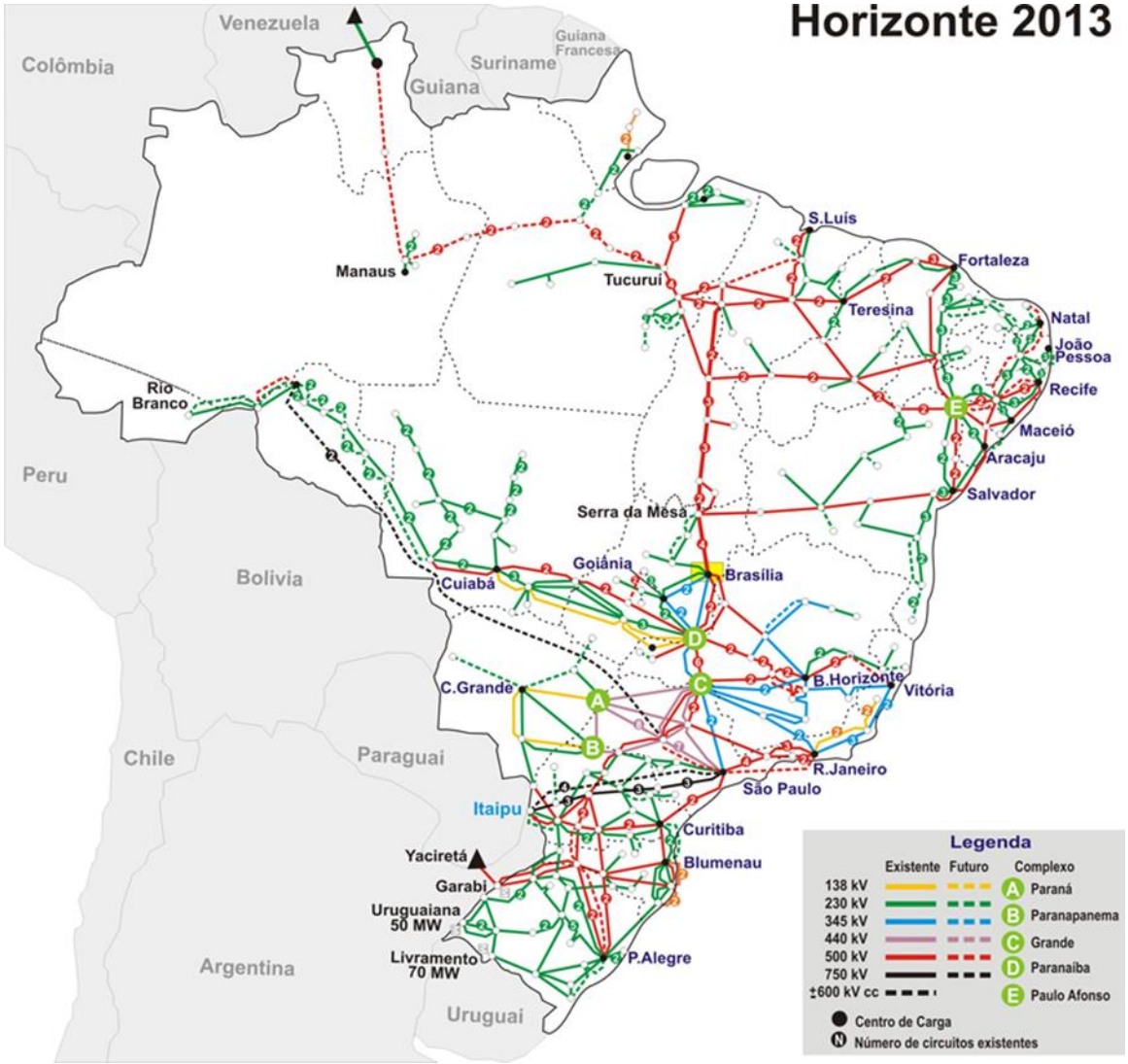


Fonte: [43]

O cenário energético do país encontra-se diante de uma oportunidade única de aprimorar e encontrar soluções viáveis para um melhor desempenho de sua rede elétrica, além de solucionar o problema da população que ainda não é atendida pelo serviço de distribuição de energia.

O sistema elétrico brasileiro é diferenciado dos demais países por apresentar sua matriz energética baseada principalmente em fontes renováveis de energia de grande porte. O Sistema Interligado Nacional (SIN – sistema de coordenação e controle que congrega o sistema de produção e transmissão da energia elétrica no Brasil), representado na figura 14.16 congrega empresas de todas as regiões do país [44].

Figura 14.16 – Sistema de transmissão elétrica brasileira



Fonte: [44]

Porém no que diz respeito à distribuição de energia, o Brasil enfrenta um cenário de reduzida eficiência, e é neste contexto que o conceito de redes inteligentes aparece para suprir as necessidades do aumento crescente por energia.

Os projetos de redes inteligentes desenvolvidos no país se deram em 2010, em parcerias com universidades e centros de pesquisa. Os primeiros indícios do desenvolvimento e implementação dos pilares da *Smart Grid* vieram com a instalação de medidores inteligentes, a partir de uma demanda desfavorável de perdas não técnicas (roubos de energia). Assim algumas empresas deixaram o sistema tradicional de medição, para este, onde a comunicação é bidirecional e a leitura é remota.

A partir desse primeiro passo a ANEEL tomou medidas que estimulassem o desenvolvimento de projetos associados à eficiência energética, propondo que um percentual mínimo de 0,50% da receita bruta das concessionárias fosse direcionado a tais projetos, sendo o conceito de *Smart Grid* um dos beneficiários dessa medida [45]. Outra importante medida adotada pela ANEEL foi a abertura da Chamada Nº 011/2010, que reconhece a importância do desenvolvimento de uma infraestrutura energética inteligente a fim de aperfeiçoar a relação concessionária-consumidor [46].

No Brasil, a Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica (ABRADEE) e a Associação de Empresas Proprietárias de Infraestrutura e de Sistemas de Telecomunicação (APTEL) indicam que a adoção do conceito de *Smart Grid* produzirá grandes oportunidades de negócios entre 2013 e 2020. Estimam que os projetos de energia inteligente, em ritmo acelerado, injetem aproximadamente 91 bilhões de reais no mercado, em ritmo moderado cerca de 60 bilhões e no cenário mais pessimista cerca de 46 bilhões de reais, abrangendo gastos com sistemas de medição, telecomunicação e TI para automação do tratamento dos dados [47].

O novo cenário energético ainda não está completamente estruturado com relação às regulamentações e leis pertinentes ao assunto. Apesar disso, as concessionárias já deram os primeiros passos em direção ao modelo de cidades inteligentes do futuro. A maioria das grandes distribuidoras já iniciou projetos pilotos no desenvolvimento e implementação da grande promessa que é a *Smart Grid*. Neste sentido as pesquisas brasileiras avançam mais no quesito distribuição, visto que os efeitos da *Smart Grid* ainda avançam pouco.

O Brasil está avançado na questão técnica da *Smart Grid* aprimorando e desenvolvendo as bases sólidas que este conceito necessita. Porém ainda vivencia um cenário de poucos casos práticos que validem as pesquisas e teorias. A atuação do país ainda é incipiente, focalizando a maioria dos casos práticos dessa tecnologia na substituição dos medidores analógicos por medidores digitais.

14.4.6 Geração Distribuída no Brasil

Seguindo a tendência mundial, o Brasil encontra-se no momento de reestruturar seu setor elétrico desenvolvendo pesquisas relacionadas à geração e distribuição da energia no país. Este cenário tornou-se favorável ao desenvolvimento do conceito de geração distribuída, assunto este, que predomina nas discussões relacionadas ao desenvolvimento de uma eficiente rede elétrica.

A tecnologia para a geração distribuída se comparada com a centralizada é mais vantajosa por apresentar menor escala, não precisar de investimentos em linhas de transmissão e distribuição e possuir um curto prazo para ser implantada. Apesar dos investimentos e avanços na geração de energia elétrica por fontes renováveis (solar e eólica) ainda não é possível utilizá-las exclusivamente, por se tratarem de fontes sem potencial de grande escala. Portanto, a aplicação de fontes renováveis de energia é mais viável no contexto da geração distribuída, funcionando como um suporte às fontes não renováveis de energia que ainda são a base do sistema elétrico [48].

A constante busca pelo desenvolvimento de tecnologias e prestação de serviços mais eficientes em todas as etapas do processo de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica, direciona investimentos para o aumento da produtividade e capacidade instalada operante no Brasil. Neste cenário a geração distribuída é a ferramenta associada às tradicionais alternativas de instalação e integração energética que será capaz de dar suporte à rede elétrica existente [49].

Assim, a Geração Distribuída ganha espaço no mercado suportada por três grandes forças: necessidade urgente do aumento da capacidade da rede elétrica, avanços tecnológicos na área e reestruturação do setor energético baseada na sustentabilidade e fontes renováveis de energia [49].

A Geração Distribuída englobará tanto o segmento residencial quanto o industrial/comercial, localizando-se à jusante da cadeia de geração e distribuição de energia, gerando benefícios para consumidores e principalmente àqueles que antes não eram amparados pelas plantas centralizadas de geração de energia [49].

Neste sentido o Brasil procura incentivar a geração distribuída através de legislações específicas do setor. A exemplo tem-se a Resolução ANEEL 21 de 2000 que estabeleceu regras de qualificação de cogeradores baseadas em seu desempenho energético e potencial de economia [50].

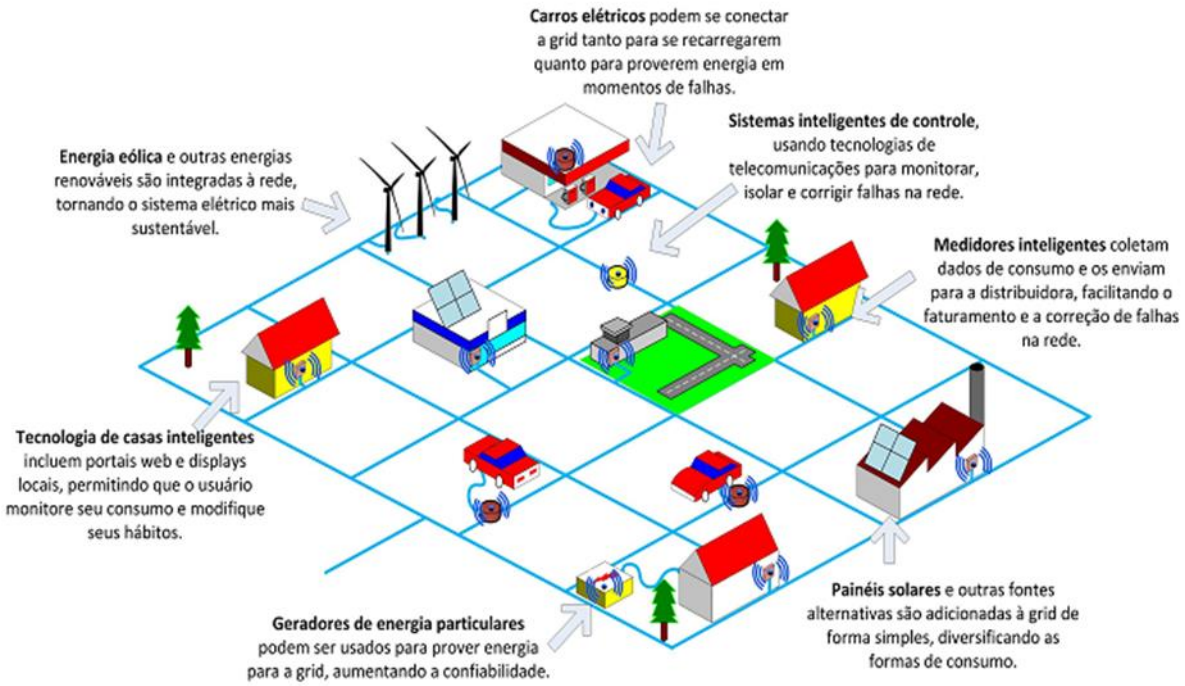
Outra medida favorável à Geração Distribuída foi o decreto da Lei n°10.438 de abril de 2002 que tratou da criação do Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Este programa objetivou aumentar a participação de fontes energéticas renováveis no sistema de geração de energia elétrica [51].

14.5 Aplicações Da Tecnologia *Smart Grid* e Geração Distribuída

O objetivo principal do sistema elétrico é fornecer energia aos consumidores. E o que se tem observado é que nos últimos anos a estrutura das nossas redes convencionais não está preparada para as necessidades do século 21 [6].

Dentro do contexto de *Smart Grid* e Geração Distribuída, surgem novas soluções práticas para aplicações de novas tecnologias que acabam tornando características marcantes do sistema de rede inteligente (Figura 14.17).

Figura 14.17 – Contexto geral de *Smart Grid* e Geração distribuída



Fonte: [6]

As principais vertentes para as aplicações dessas tecnologias são:

- Comunicações integradas: Para o funcionamento correto de uma *Smart Grid* é necessário alguns quesitos fundamentais. Entre eles encontram-se as 'comunicações integradas' que diz respeito a como os dispositivos ligados à rede se conectarão e conversarão. Com este ponto abordado o sistema se encontrará mais preparado para medir, coletar e prover rápida atuação no combate as falhas e interrupções do serviço prestado aos consumidores. Outro quesito fundamental ao desenvolvimento da *Smart Grid* são as interfaces de conexão com os sistemas finais (clientes). No ambiente da nova rede elétrica, os clientes se encontrarão conectados à rede em tempo integral, funcionando como ponto de fornecimento e coleta de informações. Este ponto permitirá maior controle dos gastos, além de promover resposta dos clientes em relação à demanda e qualidade do serviço. Estes aspectos otimizarão a rede e auxiliarão no combate e redução das falhas da rede elétrica [6].

- Fontes de energias renováveis: A utilização de fontes alternativas de energias renováveis terá um papel importante na geração futura de energia, garantindo a sustentabilidade do setor energético além de diminuir a geração de energia por recursos não renováveis, como os combustíveis fósseis, que são os grandes responsáveis pelo efeito estufa. Outro papel importante é a utilização das energias renováveis, como solar e eólica por exemplo, no sistema de rede elétrica, permitindo uma redução de custos para o consumidor final.

O Brasil, por possuir um alto potencial de fontes renováveis, tem aproveitado essas vantagens para a utilização da Geração Distribuída, como construções de painéis solares e turbinas eólicas. Essas energias são uma alternativa ao modelo energético tradicional, pois reduzem o impacto ambiental.

Segundo o relatório da *International Energy Agency* (IEA), os sistemas elétricos que utilizam pequenas gerações distribuídas, apesar de apresentarem uma pequena parcela do mercado de eletricidade, desempenham um papel fundamental operando com a mesma confiabilidade que um sistema de grandes geradores [52].

O novo panorama de geração e distribuição da energia advindo da introdução das *Smart Grid* permite uma utilização mais ampla de fontes alternativas de energia, contribuindo para o uso de energias limpas em maiores escalas. Além disso, uma das maiores revoluções provenientes desse novo cenário será a introdução de maneira ativa dos clientes no controle do consumo energético, bem como na transformação do seu perfil energético, deixando de ser somente consumidor para transformar-se em fornecedor de energia.

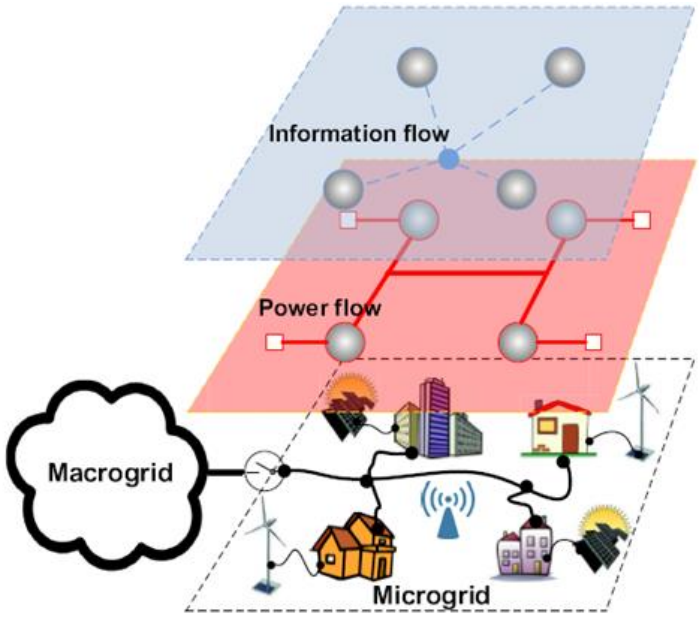
Assim, o fluxo energético passará a ter desenho bidirecional, tornando os clientes menos dependentes das concessionárias de energia. Essa configuração produtor/consumidor proporcionará maior robustez às falhas, já que em momentos de queda no sistema principal, as fontes alternativas de energia podem suprir, temporariamente, a rede afetada [6].

- *Microgrids*: O conceito de *microgrids* não é recente na história da rede elétrica. As primeiras plantas de geração de energia utilizavam o conceito de uma microrrede já que as redes centralizadas de hoje ainda não haviam se estabelecido. Entretanto o contexto da revolução industrial e o avanço da prestação de serviços direcionou o mercado energético para o surgimento de monopólios, reduzindo assim potenciais investimentos em novas soluções energéticas (*microgrids*) [53].

Atualmente os cenários vivenciados na economia mudaram o olhar da sociedade, convergindo esforços para o desenvolvimento de novas alternativas energéticas que suprissem as necessidades do mundo globalizado. Neste sentido o conceito de *microgrid* pode ser enunciado como um sistema capaz de reunir recursos energéticos distribuídos e várias cargas elétricas que operem em uma rede única e autônoma.

As microrredes (Figura 14.18) utilizam como disposição de funcionamento a arquitetura de sistemas em parelo, ou seja, são ilhadas da rede principal de distribuição de eletricidade. Nesta configuração as microgrids têm a capacidade de se desligar da rede principal em caso de queda no sistema elétrico. Assim funcionam tanto como fornecedoras de energia (geração distribuída) à rede principal, como fonte de autogeração [53].

Figura 14.18 – Exemplo de *Microcrid:* Microrredes podem ser vistos como os blocos de construção da rede inteligente



Fonte: [54]

- Sensoriamento da rede e medidores inteligentes: Para que a rede se torne inteligente é necessário à instalação de sensores tanto no núcleo quanto na extremidade da rede de energia elétrica. A central de controle das concessionárias receberão informações dos sensores e a partir desses dados irão tomar as medidas cabíveis para a resolução do problema, eliminando o desconforto dos usuários. No caso da instalação de sensores nas extremidades das redes o mecanismo mais importante para obtenção das infornações e aplicações dos consumidores é a medição inteligente que será capaz de comunicar com a empresa distribuidora as informações dadas em tempo real [6].

- Veículos elétricos: As preocupações ambientais atingem também a indústria automobilística, que passa por um momento crucial de adoção de medidas que alterem significativamente o cenário desse mercado. Este segmento se empenha no desenvolvimento de tecnologias que reduzam a emissão de poluentes, e como exemplo temos o veículo elétrico, representado na figura 14.19, sendo este classificado como a melhor opção de promessa para combater os efeitos devastadores da poluição ambiental.

Figura 14.19 – Carro elétrico da CEMIG

Fonte: [55]

O desenvolvimento de veículos elétricos originou-se dos problemas relacionados à queima de combustíveis fósseis, seus efeitos negativos e prejudiciais ao ambiente, além de se apresentarem como uma alternativa de baixo custo e com boa autonomia. Entretanto, outro fator também incentiva as pesquisas relacionadas a essa tecnologia: a *Smart Grid*.

Os veículos elétricos poderão funcionar como alimentadores de energia à rede principal nos momentos em que ela está mais sobrecarregada, fornecendo sua energia armazenada à rede. Eles funcionarão como fonte de energia em um momento e, em outro, como fontes armazenadoras (baterias). Assim os veículos elétricos poderão formar pequenas fontes de geração distribuída com a rede elétrica aproveitando-o como suporte durante as horas de pico de consumo de energia [6].

Para que este cenário seja viável se faz necessário o desenvolvimento e construção de locais próprios para o reabastecimento dos veículos que sejam capazes de fazer a cobrança utilizando a rede de telecomunicações.

Assim, pode-se elencar como grandes dificuldades do uso do carro elétrico no nosso dia-a-dia os seguintes gargalos que impedem a sua disseminação: o tempo de carga; as dificuldades em construir estações de carga; o custo da bateria; manutenção e reciclagem da bateria; e legislação própria.

14.5.1 Projetos recentes no Mundo

Segundo a empresa Norte Americana ABI *Research Technology Market Intelligence*, o investimento mundial em tecnologias *Smart City* chegou, em 2011, a US$ 16,10 bilhões e continuarão a crescer ao longo dos próximos cinco anos alcançando US$ 80,8 bilhões durante o ano de 2018. Para os próximos 20 anos vão exigir na modernização das redes de energia elétrica investimentos em torno de US$ 13 trilhões em todo o mundo [56].

A ABI *Research*, define cidade inteligente com base em seis critérios que são: economia inteligente, meio ambiente, governança, estilo de vida, transporte e comunidade. Respeitando estes critérios, existem hoje cerca de 108

projetos de cidade inteligente no mundo, sendo a maior parte dos projetos situada na Europa e América do Norte [57].

- Holanda

O Projeto Amsterdam *Smart City* localizado na cidade de Amsterdam/Holanda teve início em 2009 com a finalidade de desenvolver ações que pudessem fazer da cidade um lugar mais sustentável e energeticamente eficiente, tendo como estratégias principais o uso de informações, inovação e o gerenciamento eficiente dos recursos [58].

Algumas ações contribuíram para criar uma cidade mais sustentável como, fornecer energia renovável através da geração eólica para 8.000 moradores, incentivar a população ao uso de transporte público de baixo carbono e uso de bicicletas e projetos relacionados à educação infantil, no qual crianças de escolar primárias aprendem a economizar energia desde cedo, através de programas sócio educacionais [58].

O projeto teve como objetivo conectar 33,3% da cidade numa rede inteligente até o final de 2011, ter organizações de neutralização de impactos climáticos municipais até 2015, estabelecer o consumo de 20% da energia advinda de fontes renováveis e reduzir em 40% as emissões de dióxido de carbono até 2025 (Figura 14.20) [58].

Figura 14.20 – Cidade inteligente de Amsterdam – Holanda

Fonte: [59]

- Estados Unidos

Em 2008 iniciou-se na cidade de Boulder, Colorado/EUA o projeto piloto de rede inteligente. Boulder foi escolhida por apresentar uma rede de infraestrutura completa e por situar próxima a Universidade de Colorado. O projeto tem uma iniciativa da empresa estatal *Xcel Energy* que projetou a *Smart Grid City* em torno de US$ 100 milhões, incluindo custos de operação e manutenção da nova rede [60].

Para implantação do projeto foi necessário mais de 15.000 medidores inteligentes e 100 milhas de cabo de fibra ótica. A primeira fase do projeto foi entregue em setembro de 2010, atendendo 10.000 residências [14].

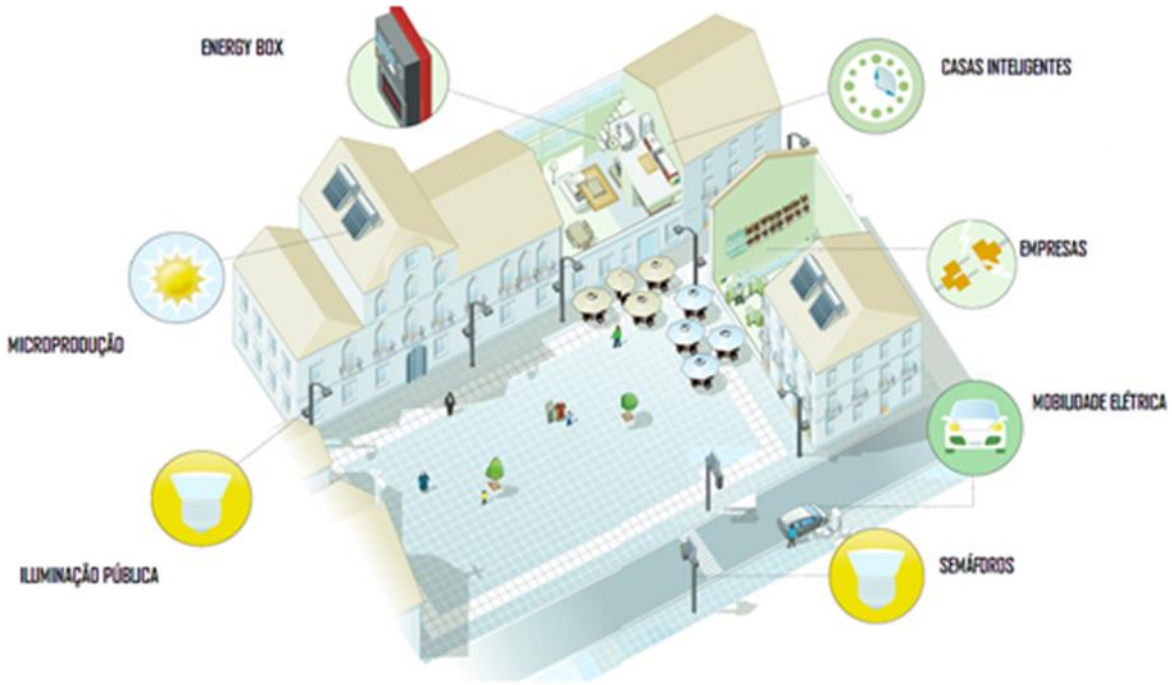
Com a implantação de *software* a rede inteligente irá permitir que a empresa *Xcel* leia os medidores remotamente e redirecione o fluxo de potência de desvio de linhas com defeito e detecte o desligamento da energia sem que necessite o consumidor entrar em contato com a empresa. Com isso ocorrerá uma maior otimização da rede possibilitando ganhos expressivos na melhoria do sistema elétrico como um todo [14].

- Portugal

Évora é palco da nova tecnologia *Smart Grid*. A primeira cidade inteligente da Península Ibérica a receber o projeto piloto *InovGrid* do grupo EDP (Figura 14.21) [61].

A meta do grupo é equipar todas as casas com os terminais inteligentes de rede prevendo uma série de vantagens para os consumidores. Cada casa terá um equipamento inteligente (*Energy Box*) dispostas nos pontos de consumo e de geração. Os clientes poderão supervisionar seu padrão de consumo adaptando-o nos períodos do dia em que o custo de energia é mais barata [61].

Figura 14.21 – Cidade inteligente de Évora, Portugal (Adaptado)



Fonte: [61]

O conceito de *Smart Grid* associado à Geração Distribuída modificará a maneira como o consumidor utiliza a energia. Este novo cenário, além de consumidor os usuários da rede elétrica poderão se tornar produtores de energia também. Ao instalar minicentrais de geração de energia em suas residências (como painéis fotovoltaicos

e pequenas turbinas eólicas) ele passará a direcionar novamente a rede o excesso de energia que produzir e não utilizar.

Nessa nova configuração a rede inteligente permite aumentar a produção de energia de modo descentralizado, adaptando-se às condições de exploração da rede elétrica. Esse novo perfil de consumidor (o consumidor/produtor) se beneficiará de planos diferenciados e preços ajustados ao seu esquema de consumo de energia. A produção se tornará mais eficiente e o consumidor poderá gerenciar melhor seus gastos energéticos.

A EDP escolheu Évora para ser a cidade inteligente por apresentar atributos ideais para implementação da rede, como número de clientes, características da rede e apontadores socioeconômicos e demográficos favoráveis para implementação da mesma [61].

Évora conta com 54 mil habitantes, sendo que 31 mil são consumidores da cidade inteligente nos quais será instalada em cada casa uma "caixa inteligente" (*Energy Box*) que irá substituir o relógio analógico. A *Energy Box* apresenta inúmeras vantagens, como obter informações sobre as horas que o consumidor mais consome energia e permitir que o mesmo conheça as horas em que possa usar a eletricidade a um preço mais barato [61].

Esses conceitos são direcionados pelas ideias de sustentabilidade, autogestão e inovação. A EDP apoia outros projetos de redes inteligentes, como a criação de pontos de abastecimento de veículos elétricos, que não são possíveis sem o desenvolvimento conciso do *Smart Grid* [61].

- Espanha

A cidade de Málaga apresenta um ambicioso projeto *Smart City* no qual coloca a cidade como a mais inteligente da Espanha. O projeto tem como meta o plano UE 20-20-20 que estabelece objetivos para 2020 para a melhoria da eficiência energética em 20%, reduzido as emissões de dióxido em 20% e aumentando as fontes de energias renováveis para 20% das fontes de energia do país (Figura 14.22) [62].

Figura 14.22 – Cidade inteligente de Málaga – Espanha

Fonte: [63]

A companhia energética Endesa e mais onze empresas investiram 31 milhões de euros na cidade do futuro, visando proporcionar um novo modelo de gestão energética para a cidade de Málaga. Ao todo já foram instalados 17.000 medirores inteligentes por meio de sofisticados aparelhos que monitoram em tempo real as redes média e baixa tensão e o consumo e geração de energia [63].

O projeto pretende unir geração e consumo ao utilizar fontes renováveis de energia ligadas à rede. Este objetivo será alcançado com a instalação de painéis fotovoltaicos em prédios públicos, em alguns ambientes utilizando a microgeração e através da instalação de microssistemas eólicos na região. Existirão sistemas de armazenagem de energia configurados em baterias, permitindo que parte da energia recebida possa ser utilizada mais tarde em áreas públicas, transporte elétrico e edifícios com controle de ambiente. Outras medidas serão adotadas para incentivar a utilização de carros elétricos, como estações de recarga e pequenas disponibilizações de frota. Neste cenário o consumidor final é o grande ganhador, se formalizando como foco de todas as ações [63].

- Chile

Santiago, capital do Chile, é considerada uma cidade moderna apesar da desigualdade social e dos elevados índices de poluição que atingem a cidade. Por esses motivos o governo em associação com empresas privadas desenvolveram o projeto *Smart City* Santiago, que pretende tornar a cidade chilena a mais "inteligente" existente, melhorando sua eficiência energética e reduzindo os índices de poluição e sequestro de carbono (Figura 14.23) [64].

A empresa que investe no projeto cidade inteligente é a Chilectra, pertencente ao grupo Espanhol Endesa que já realizou várias ações como, implantação de luminárias LED na cidade a fim de melhorar a eficiência de seu uso, investimento de transporte público elétrico além de recarga elétrica para carros particulares e taxis, instalação de painéis solares nas residências, instalação de medidores inteligentes com comunicação bidirecional e sistemas de geração solar fotovoltaica. O projeto conta com um investimento de US$ 10 milhões tem previsão para ser finalizada até o final de 2013 [65].

Figura 14.23 – Cidade inteligente de Santiago – Chile

Fonte: [65]

14.5.2 Projetos recentes no Brasil

Alguns estados do Brasil têm investido em projetos piloto para o desenvolvimento de novas tecnologias de rede de energia (Figura 14.24). Estes projetos abrem caminho para um novo modelo de distribuição de energia elétrica, realizando a migração tecnológica do setor elétrico atual para a adoção plena do conceito de rede inteligente em todo o país.

Figura 14.24 – Projetos Piloto de redes inteligentes desenvolvidos em alguns estados brasileiros

Fonte: [66]

- Minas Gerais

O programa Cidades do Futuro é um projeto de pesquisa e desenvolvimento realizado pela Cemig que trata de um dos mais abrangentes projetos de P&D de redes inteligentes da América Latina. A cidade escolhida para a implantação do programa foi Sete Lagoas, localizada na região central do Estado, na qual é modelo no âmbito de fornecimento de energia, por apresentar sistema elétrico de alta, média e baixa tensões, sistema de telecomunicações e a presença da Universidade da Cemig (UniverCemig) que conta com uma infraestrutura laboratorial para os testes da tecnologia e capacitação de equipes. Estas características contribuíram para a inauguração da mais moderna tecnologia de rede inteligente (*Smart Grid*) no setor elétrico para o estado de Minas Gerais [67].

Em Sete Lagoas serão instalados 8 mil medidores inteligentes, em julho de 2012 já foram instalados 3800 medidores que permitem o gerenciamento do consumo de energia elétrica ao longo do dia, proporcionando aos consumidores a possibilidade de monitorar o melhor horário para o consumo de energia de forma mais eficiente e econômica. Com a introdução dos primeiros sinais das redes inteligentes na rede elétrica do Brasil, o consumidor terá a possibilidade de supervisionar a qualidade da energia oferecida, e com o grande diferencial de fazer isso agora em tempo real [68].

De acordo com Daniel Senna – Gestor do Programa Cidades do Futuro, este novo cenário proporcionará a automação da rede e subestações, produzindo como impacto mais significativo à redução das interrupções do serviço e maior agilidade nos reparos da rede elétrica, já que agora a identificação das falhas não depende mais da comunicação do consumidor às concessionárias e sim do sistema integrado de comunicação e transmissão de dados automatizados pelos medidores eletrônicos [69].

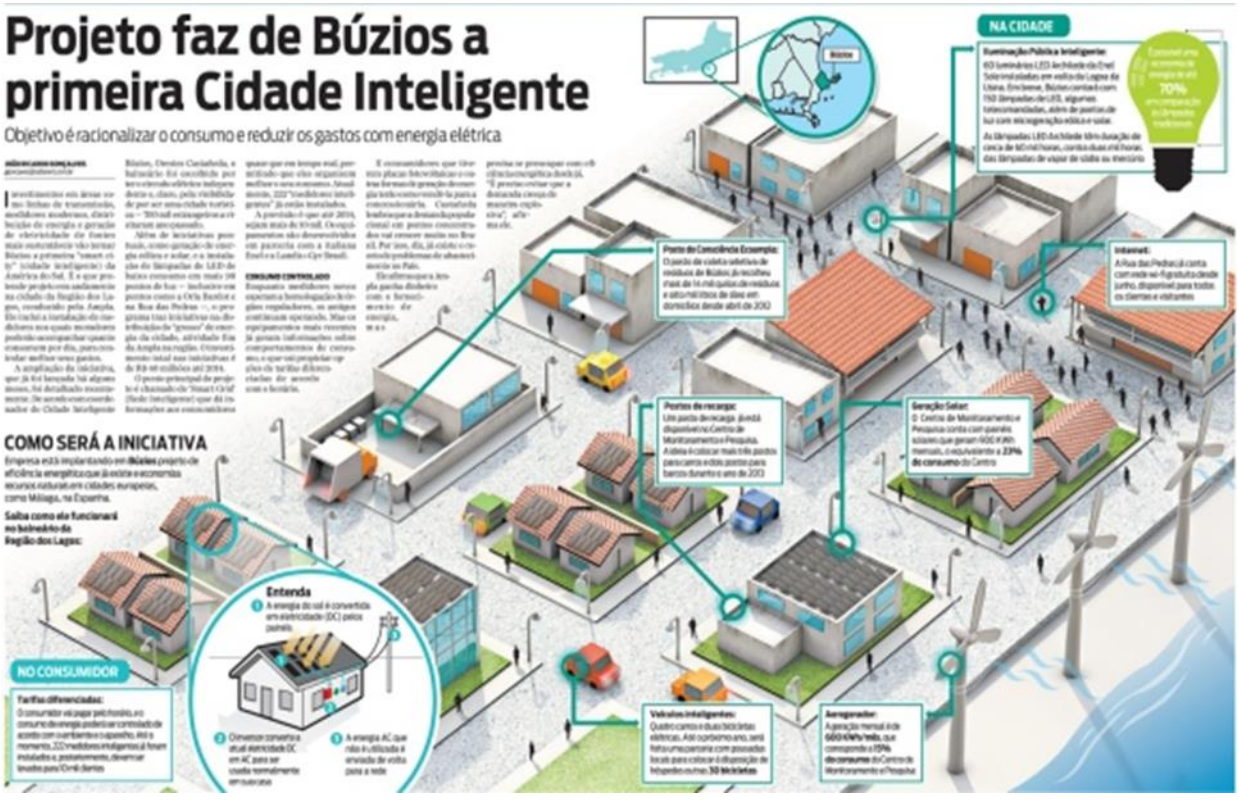
O projeto Cidades do Futuro tem previsão para ser concluído em 2014. Conta com um total de investimentos em torno de R$ 50 milhões, financiados pelos programas de Eficiência Energética da Cemig, Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e pelo Governo dos EUA por meio da Agência Norte-Americana para o Comércio e Desenvolvimento (USTDA – Sigla em inglês) [70].

A cidade ainda conta com um novo projeto para instalação da maior usina fotovoltaica do país. Sete Lagoas apresenta um índice de radiação solar satisfatório o que possibilita a viabilidade do projeto. Para sua construção serão utilizadas mais de 3 mil placas solares compostas de células de silício [71].

- Rio de Janeiro

O projeto Cidade Inteligente Búzios, situado no Estado do Rio de Janeiro é o primeiro da América Latina e representa um novo modelo de gestão energética com base na sustentabilidade, inovação, tecnologia e eficiência (Figura 14.25) [72].

Figura 14.25 – Figura esquemática do Projeto *Smart City* Búzios



Fonte: [72]

O projeto teve início em 2011 com apoio da AMPLA/Endesa Brasil e integra tecnologias tradicionais com modernas soluções digitais para melhorar a flexibilidade da rede e a gestão das informações [73].

A cidade Inteligente é um projeto da Ampla, Distribuidora de Energia local, que vem investindo em projetos de *Smart Cities* e pretende colocar Búzios entre uma das mais inteligentes do mundo. A distribuidora objetiva racionalizar o consumo da energia e reduzir seu desperdício, alterando a realidade da cidade para uma consciência mais sustentável, racional e eficiente. O investimento calculado foi de R$ 40 milhões em média e deve ser finalizado em meados de 2014 [72].

A cidade inteligente traz diversos benefícios aos consumidores de energia elétrica. Em primeiro lugar os projetos de redes inteligentes proporcionarão maior controle de consumo para os cidadãos, além de tarifação diferenciada por horário de consumo, o que se estima que reduza em até 30% a conta de energia dos brasileiros [72]. Outro benefício evidenciado é que agora os consumidores poderão gerar e vender energia, redirecionando o seu excedente energético à rede elétrica para redistribuição aos demais consumidores de sua região (geração distribuída). Essa geração será proveniente de fontes renováveis, como energia solar e eólica, o que reforça o contexto mundial de desenvolvimento sustentável e autogestão. A iluminação pública passará a contar com lâmpadas LED que são mais econômicas e eficientes, além disso, as distribuidoras terão controle em tempo real da rede, podendo interferir com ajustes automáticos e respostas ágeis às oscilações de energia. O principal benefício das cidades inteligentes é que seu desenvolvimento prevê incentivo ao novo perfil de consumo consciente da população e seu engajamento no desenvolvimento sustentável do seu ambiente [73].

Já na cidade do Rio de Janeiro, em 2010, foi desenvolvido o programa *Smart Grid Light*. A companhia Light prevê investimentos provenientes do programa de P&D tecnológico do setor de energia elétrica, oferecidos e regulamentados pela ANEEL. O programa engloba uma série de projetos de redes inteligentes associados a novas tecnologias de medição e automação que serão aplicadas desde a rede de distribuição até as casas dos consumidores finais. Assim a Light se prepara de maneira mais estruturada para os desafios do mercado de energia, equipando-se para atender de maneira eficiente as necessidades atuais e futuras do consumidor [74].

No final de 2012 foram investidos R$ 200 milhões em medição inteligente com um total de aproximadamente 300 mil medidores instalados na cidade do Rio de Janeiro. A distribuidora de energia elétrica do Estado do Rio de Janeiro investe em tecnologias que modificarão o cenário das cidades do Rio para o novo conceito de cidades do futuro. Nas imediações do bairro Leblon, na capital do estado, a Light prevê implantação de cerca de 1.000 medidores eletrônicos. Esta substituição proporcionará ao consumidor acompanhamento do seu perfil de consumo através das mais diversas interfaces (tablets, internet, celular ou sistema instalado na TV) [74].

Para a Light, o conceito de automatização da rede elétrica ultrapassa os limites dos medidores inteligentes. A empresa pretende instalar, até o final de 2013, tomadas inteligentes que criarão meios de diálogo entre os consumidores e as concessionárias, prevendo o entendimento do serviço e a incorporação dos conceitos inteligentes para as concessionárias de água e gás [74].

- Amazonas

A cidade de Parintins localizada no estado do Amazonas próximo a divisa com o estado do Pará é palco para o desenvolvimento de um projeto inovador. O projeto Parintins é desenvolvido pela Eletrobrás Amazonas Energia, desde 2010, e conta com a tecnologia do sistema *Smart Grid* que prevê a automação da rede de distribuição de energia além das diferentes tecnologias associadas ao sistema elétrico do município. O projeto conta com financiamentos das empresas do grupo Eletrobrás por meio de programas P&D e o programa de Eficiência Energética da ANEEL [75]

Segundo o prefeito de Parintins Bi Garcia, a iniciativa de automatizar a rede de distribuição de energia elétrica com o uso de sistemas de energia inteligente coloca a cidade como referência nacional e internacional. O sistema

inteligente permitirá a interferência imediata em casos de falhas na rede de distribuição de energia de forma a melhorar a qualidade e a segurança da comunicação [76].

A cidade já instalou cerca de 3.500 medidores inteligentes que possibilitarão ao consumidor acompanhar e calcular o consumo de energia elétrica de forma eficiente e econômica, com isso o cliente poderá optar por um consumo de energia fora do horário de pico [75].

A Eletrobrás investiu R$ 21 milhões para a implantação de todos os medidores inteligentes bem como automação dos alimentadores e na medição e monitoramento de transformadores de distribuição a fim de melhorar todo o sistema do parque [76].

Há uma iniciativa futura do projeto pela aquisição de 30 sistemas de painéis solares fotovoltaicos para ser instalado nas residências, o que permite ao consumidor gerar energia elétrica para o sistema de distribuição da concessionária incentivando a microgeração distribuída conectada aos alimentadores da rede [75].

- São Paulo

A cidade de Aparecida/SP sempre foi conhecida como um santuário religioso que recebia nas mais diversas épocas do ano devotos de todas as regiões do país para conhecer a Basílica de Nossa Senhora Aparecida. Mas, desde 2011, com a implantação do projeto Inovcity, encabeçado pela distribuidora de energia elétrica EDP Bandeirantes, Aparecida se torna a primeira cidade inteligente do estado de São Paulo [77].

Algumas iniciativas foram tomadas para a construção deste cenário como a substituição dos medidores analógicos por medidores inteligentes, além da troca da iluminação tradicional por lâmpadas de LED. A cidade agora firma-se como um marco na história de São Paulo, direcionando os olhares do governo, outras concessionárias de energia e da população para as questões relacionadas à energia inteligente [77].

Atualmente foram instalados 3.300 medidores inteligentes dos 12.000 a serem instalados por todo município. Desenvolvidos para operar de forma inovadora, os medidores irão aprimorar o sistema de medição de energia elétrica beneficiando as concessionárias e o consumidor final (Figura 14.26) [11].

Figura 14.26 – Implantação do *Smart Grid* e medidores inteligentes em Aparecida/SP

Fonte: [11]

Vários serão os benefícios do medidor inteligente para a cidade, como otimização dos custos de manutenção da rede, gestão remota de equipamentos da rede, melhor controle sobre os fluxos da energia da rede a fim de minimizar as perdas, iluminação pública eficiente, microgeração com fontes renováveis de energia, etc.

A EDP Bandeirantes investiu 10 milhões no projeto piloto do InovCity. A distribuidora doou cinco postos de carregamento para veículos elétricos, além de bicicletas e *scooters* elétricos com a finalidade de incentivar a utilização da mobilidade elétrica [78].

- Ceará

Objetivando desenvolver e implementar um projeto piloto de Redes Inteligentes, a cidade de Aquiraz no Ceará foi escolhida como modelo para uma cidade inteligente. O município recebeu um total de 100 medidores e foi escolhido por apresentar níveis de consumo energético local (facilitando a troca dos medidores), existência de uma subestação automatizada e pela infraestrutura da rede do município que era favorável à implantação [79].

- Paraná

A cidade Fazenda Rio Grande localizada em Curitiba/PR é sede do projeto piloto para a implantação de novas tecnologias de rede inteligente. Com o apoio da Copel, a cidade foi escolhida para o desenvolvimento de projetos de automação do sistema de distribuição de energia visando o conceito de *Smart Grid* [80].

O projeto conta com um investimento de R$ 350 milhões no qual inclui também a construção de 10 subestações. Com a implantação de tecnologias de rede inteligente na cidade Fazenda Rio Grande é possível detectar e reparar automaticamente as falhas no sistema de rede elétrica, bem como informar para o usuário o quanto de energia foi gasta [80].

A Copel pretende atender cerca de 100 mil consumidores com a automação do sistema elétrico inteligente, possibilitando uma maior eficiência do serviço além de permitir que novas fontes de energias renováveis possam ser ligadas à rede de distribuição [80].

- Pernambuco

O sistema de redes inteligentes situado no Arquipélago de Fernando de Noronha/PE será o primeiro projeto de P&D realizado no estado de Pernambuco. O projeto piloto conta com a implementação de medição avançada, telecomunicações, automação da rede e tecnologia de informação abrindo um caminho para um modelo mais inteligente de distribuição de energia elétrica com o objetivo de tornar eficiente e sustentável o consumo de energia local [81].

A Companhia Energética de Pernambuco (Celpe) irá investir mais de R$ 16 milhões para a realização do projeto piloto *Smart Grid* durante os 3 anos de implantação do projeto. Entre os benefícios da rede inteligente, estão a identificação e correção mais rápida de falhas no sistema de rede [81].

14.6 Principais Entraves ao Desenvolvimento das Tecnologias

A rede inteligente, atrelada às suas tecnologias de suporte, vem trazer modernização ao sistema de fornecimento de eletricidade tradicional existente, monitorando, protegendo e otimizando automatizadamente o funcionamento dos sistemas interligados à rede. Assim, o *Smart Grid* e a Geração Distribuída surgem como tecnologias promissoras, que trarão maiores níveis de eficiência e eficácia na geração, transmissão e distribuição da energia elétrica que consumimos.

Porém, toda inovação seja ela radical ou não, traz impactos à atual estrutura existente. Neste contexto vislumbram-se alguns entraves ao desenvolvimento das tecnologias de *Smart Grid* e a Geração Distribuída. O primeiro ponto a se comentar diz respeito à infraestrutura elétrica do Brasil, que possui perfil elétrico centralizado, baseado em duas principais fontes geradoras (hidroelétricas e termoelétricas). Segundo estudo da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, a Tabela 14.3 mostra a evolução da capacidade instalada para as diferentes fontes de geração entre os anos de 2011 a 2021, em percentuais [82].

Tabela 14.3 – Evolução da capacidade instalada por fonte de geração (%)

FONTE	2011[c]	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
RENOVÁVEIS	83,5%	83,0%	82,1%	80,2%	81,0%	81,0%	81,7%	82,3%	82,9%	83,4%	83,9%
HIDRO[a]	71,8%	69,9%	67,1%	64,4%	65,0%	64,9%	65,6%	65,6%	64,9%	64,4%	64,1%
OUTRAS	11,8%	13,1%	15,0%	15,8%	16,0%	16,1%	16,0%	16,8%	18,0%	19,1%	19,8%
NÃO RENOVÁVEIS	16,5%	17,0%	17,9%	19,8%	19,0%	19,0%	18,3%	17,7%	17,1%	16,6%	16,1%
URÂNIO	1,7%	1,6%	1,5%	1,4%	1,4%	2,3%	2,2%	2,1%	2,0%	2,0%	1,9%
GÁS NATURAL	8,8%	8,5%	8,7%	8,7%	8,4%	8,0%	7,9%	7,6%	7,4%	7,1%	7,2%
CARVÃO	1,5%	2,3%	2,5%	2,3%	2,2%	2,1%	2,0%	2,0%	1,9%	1,8%	1,8%
ÓLEO COMBUSTÍVEL	2,8%	2,9%	3,6%	5,8%	5,6%	5,3%	5,1%	4,9%	4,8%	4,6%	4,4%
ÓLEO DIESEL	1,0%	1,1%	1,1%	1,0%	1,0%	0,9%	0,7%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%
GÁS DE PROCESSO	0,6%	0,6%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%
TOTAL[b]	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

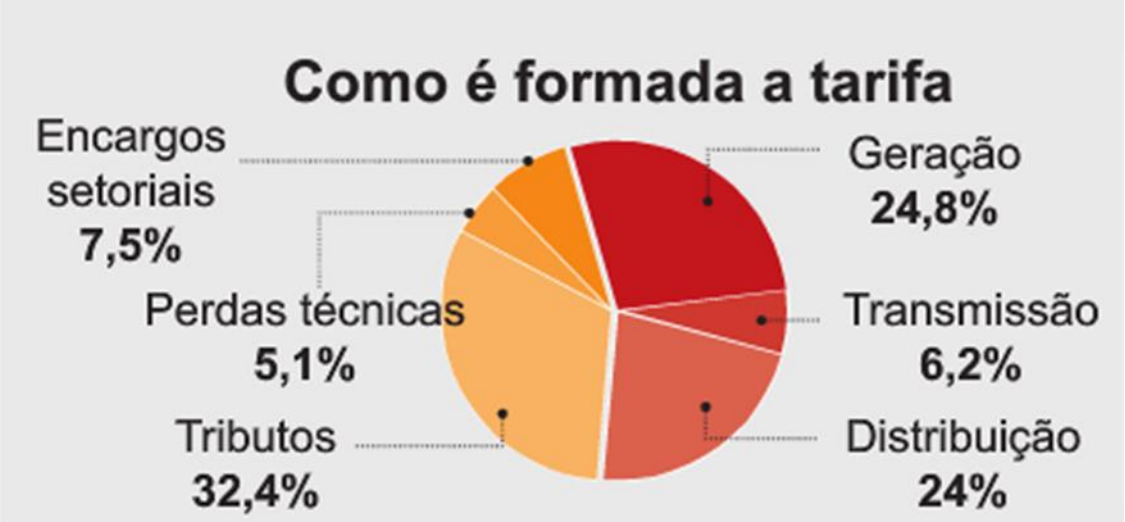
Fonte: [82]

Observa-se que a participação das hidroelétricas sofreu redução de 71,8% para 64,1%. Em contrapartida as outras fontes renováveis de energia tomam força no mercado saindo do patamar de participação de 11,8% em 2011 para projeção de 19,8% em 2021. Essa projeção de aumento das fontes alternativas de energia deve-se também ao desenvolvimento dos conceitos de *Smart Grid* e Geração Distribuída, que incentivam a potencialização dessas alternativas energéticas como forma de viabilizar a implantação de seu conceito [82].

De fato o Brasil apresenta alto volume de eletricidade transmitida por grandes extensões, o que gera elevados níveis de perdas de carga no processo. Esse fato gera uma necessidade crescente de monitoramento e controle automatizado por todas as etapas de geração, transmissão e distribuição da energia de modo integrado às concessionárias, viabilizando maneiras de se ter uma gestão da demanda de energia. Logo, pensar numa solução de grande porte para o problema da realidade energética centralizada e extensa que o país vivencia é desafiador.

Atrelado a este fator pode-se destacar como outro entrave à *Smart Grid* e Geração Distribuída a complexidade que o novo modelo tarifário exigirá. Atualmente a tarifa energética é formada por duas parcelas: a primeira delas se refere aos custos diretos da energia (mão-de-obra envolvida no processo, material, manutenção de linhas, distribuição, remuneração e etc.); a outra parcela está ligada aos custos não gerenciáveis (encargos/tributos) que as concessionárias têm (Gráfico 14.10) [42]. Além disso, a existência de mais de 60 distribuidoras de energia espalhadas pelo país associada às particularidades de cobrança de cada região, torna o cenário de padronização dessa nova tarifa complexo [83].

Gráfico 14.10 – Composição da tarifa energética

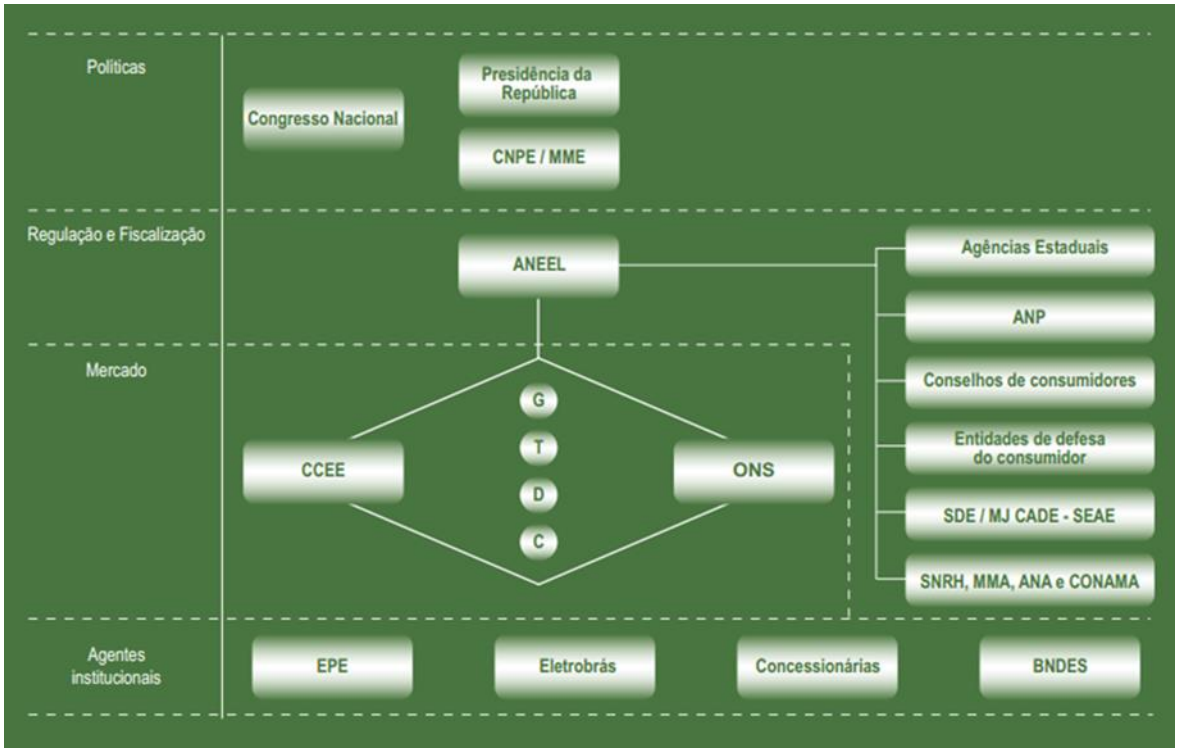


Fonte: [42]

Ao mesmo tempo, o Brasil encara desde 2004 uma nova estrutura energética institucional, representada na Figura 14.27. A formulação das políticas para o setor é de responsabilidade do Poder Executivo Federal, representado pelo Ministério das Minas e Energia (MME), contando com o apoio do Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE) e do Congresso Nacional. Estes órgãos criaram novos agentes, um deles é a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), cujo objetivo é realizar os estudos necessários ao planejamento e expansão do sistema elétrico. O outro é a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) que coordena a negociação da energia no mercado livre [84].

Além desses órgãos, a ANEEL preserva-se como agência reguladora, e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) como responsável por coordenar e supervisionar a operação centralizada do sistema interligado brasileiro.

Figura 14.27 – Estrutura institucional do setor elétrico



Fonte: [84]

Em resumo, os entraves ao desenvolvimento das tecnologias de *Smart Grid* e Geração Distribuída perpassam os seguintes pontos [46]:

- Integrar a Geração Distribuída e as fontes renováveis às redes de distribuição, proporcionando o cenário esperado de suporte ao aumento da demanda energética;
- Desenvolvimento e padronização das tecnologias de rede inteligente, que se mostram inovadoras e desafiadoras. O desenvolvimento consistente dessas tecnologias fomentará níveis de confiabilidade mais elevados, facilitando a introdução das mesmas no mercado energético;
- Gerenciamento pelo lado da demanda, exigindo elevados níveis de conscientização da população para correto entendimento dos benefícios e particularidades do novo cenário;
- Desenvolvimento de tecnologias de suporte, como *softwares* de monitoramento e medição de consumo, *software* de organização e síntese dos dados que serão transferidos de forma bidirecional;
- Criação da infraestrutura de telecomunicações necessária ao suporte de uma rede inteligente;
- Análise e desenvolvimento de modelos tarifários para os novos padrões de consumo e uso de energia;
- Testes e certificações da tecnologia proposta para comprovar sua viabilidade técnica, financeira, econômica e comercial;

- Maior abrangência de projetos pilotos práticos que demonstrem a aplicabilidade das tecnologias e seus benefícios à rede;

- Qualificação e treinamento da mão-de-obra que estará em contato direto com a tecnologia e com os consumidores;

- Definição dos recursos monetários necessários ao incentivo de pesquisas e implantação das mudanças indispensáveis à regulação do novo sistema elétrico;

- Elevado número de medidores analógicos a serem substituídos;

- Alto custo das energias alternativas, dificultando o desenvolvimento de uma rede consistente de suporte à rede elétrica principal.

De fato, o cenário atual da rede elétrica traz grandes prejuízos financeiros, e o advento da rede inteligente se mostra como o caminho a ser articulado para conter esse gargalo operacional. Assim esses obstáculos, apresentados à primeira vista, como entraves ao completo desenvolvimento e implementação das tecnologias no mercado, se configuram como marcos a serem batidos, apontando cada vez mais para a elaboração de planos regionais específicos de atuação em prol do benefício geral da população.

14.7 Tendências Futuras

O desenvolvimento da *Smart Grid* permeará os caminhos das descobertas de novas tecnologias. A inexperiência com relação a essas novas tecnologias (baterias, armazenamento de energia, geração distribuída e veículos elétricos) acarretam incertezas e riscos no comportamento da rede, sua confiabilidade e manutenção. Por conta dos mecanismos de controle e tecnologias serem novidade no mercado, faz-se necessário a criação de normas, leis e práticas de projetos que regularizaram as inovações pertinentes à *Smart Grid*, que é dificultada pela mesma falta de experiência com relação ao assunto [85].

As tecnologias aplicadas a *Smart Grid* tem sido implementadas em diversas áreas em um ritmo bastante eficaz, em contrapartida existem carências em outras linhas de pesquisa. A figura 14.28 mostra o desenvolvimento da *Smart Grid* usando pesquisas apresentadas pelo governo, indústrias e instituições de ensino e pesquisa nos Estados Unidos [85].

Figura 14.28 – Estrutura institucional do setor elétrico nos Estados Unidos

TENDÊNCIA	ÁREAS
Alta	Geração distribuída, automação da T&D, medidores avançados, capital de risco
Moderada	Preços dinâmicos, compartilhamento de dados em tempo real, sistemas de medição avançada, evolução dos regulamentos e políticas
Baixa	Micro redes, veículos elétricos, avaliação dinâmica das linhas, resposta a demanda, eficientização do T&D
Nascente	Segurança cibernética, normas e arquiteturas abertas
Quase nulo ou levemente em declínio	Fator de Capacidade, Qualidade da Energia, Confiabilidade

Fonte: [85]

Segundo a mesma figura, as áreas que apresentam tendências "alta" e "moderada" têm uma quantidade de pesquisa aceitável, como por exemplo, pesquisas na área de Geração Distribuída, medidores avançados, compartilhamento de dados em tempo real, etc. Enquanto as áreas que apresentam tendências "quase nulo ou levemente em declínio" como qualidade da energia, confiabilidade etc, tem registrado um decaimento nas atividades [85].

14.8 Conclusão

O desenvolvimento da *Smart Grid* e Geração Distribuída abrem as portas para uma série de inovações tecnológicas que irão impactar positivamente a realidade elétrica do país, tais como: tecnologias de simulação computacional e física, redes de comunicação, testes de tomada de decisão, novos equipamento e etc, e podendo inclusive alterar a relação sociedade para com os sistemas energéticos.

A partir do levantamento feito neste relatório identificou-se que o futuro dos sistemas elétricos Brasileiros permeia as redes inteligentes e suas tecnologias adjacentes, que combinadas à inteligência artificial podem prover níveis de autonomia capazes de auto gerenciar a rede elétrica, munindo-a de configurações capazes de minimizar as perdas e maximizar a proteção a ela oferecida. Mas para isso o governo Brasileiro necessitará estruturar uma política de planejamento consistente capaz de abranger a totalidade das particularidades que a Smart Grid trás consigo. Além do planejamento estruturado, o governo tem como grande desafio propor cenários de investimentos em pesquisas de eficiência energética mais agressivos, que possam beneficiar o desenvolvimento das pesquisas que irão deslanchar a utilização do conceito de *Smart Grids*. [86]

Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi alcançado ao identificar e promover a reunião das abordagens teóricas em torno do tema *Smart Grid* e Geração Distribuída provendo a todos maior esclarecimento quanto a esta inovação tecnológica que modificará o panorama atual de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica no país.

Capítulo 15: Química verde[15]

Resumo: No presente trabalho, procurou-se coletar dados para análise da química verde em resposta à proposta da Gerência de Alternativas Energéticas – TE/AE da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, visando apresentar os princípios e processos que regem a temática. Para elaboração do estudo foram realizadas pesquisas na internet, em artigos científicos e em livros que abordam a química verde. O resultado foi uma pesquisa que resultou na apresentação dos doze princípios fundamentais da química verde e os processos que norteiam o assunto.

15.1 Introdução

O ex-vice-presidente Al Gore [1], foi categórico ao dizer, em 2008, em uma coletiva de imprensa na China, que "de certa forma, a luta para salvar o meio ambiente é muito mais difícil do que a luta contra Hitler, porque agora a guerra é contra nós mesmos. Nós somos o inimigo, assim como temos apenas nós mesmos como aliados. Em uma guerra como esta, o que é a vitória e como vamos reconhecê-la?".

As perguntas feitas por Al Gore, mesmo após quatro anos, continuam sem respostas convincentes. Considerando a dimensão do problema ambiental que a Terra vive e reconhecendo que a solução está atrelada aos seres humanos, a vitória consiste, neste caso, em propor medidas que diminuam os danos causados ao Planeta.

Com o exacerbado crescimento demográfico e a consequente necessidade de produção industrial, novos conceitos ambientais foram sendo difundidos, a fim de amenizar o grande índice de poluentes lançados, diariamente, na atmosfera.

Neste contexto, em 1989, durante a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, criado pela Organização das Nações Unidas – ONU, o termo desenvolvimento sustentável foi difundido, ganhou espaço e relevância com o passar dos anos, vindo a se tornar um dos principais pilares da produção industrial, conciliando o crescimento econômico à preservação ambiental.

A partir daí, empresas dos mais diversos setores começaram a se interessar pelo assunto e a sustentabilidade passou a ser a meta de muitas delas, prova disso foi o surgimento da NBR ISSO 14.001, certificação relacionada ao estabelecimento e operação de um sistema de gestão ambiental. Atualmente, empresas e países exigem que seus fornecedores, principalmente dos seguimentos de química, petroquímica, papel e celulose sejam certificados pela ISSO 14.001, sinônimo de qualidade ambiental.

Outro conceito mais recente vem sendo utilizado a fim de auxiliar no combate à poluição gerada pelas indústrias, trata-se da química verde, também conhecida como química ambiental ou química para o desenvolvimento sustentável. Este conceito surgiu no início dos anos de 1990, sendo destaque, principalmente, nos Estados Unidos, Inglaterra e Itália.

Este estudo visa apresentar a Química Verde, mas afinal o que este conceito significa? Quais são as áreas de atuação? A partir deste material será possível conhecer a essência da química verde, apontando seus pontos positivos e negativos, o histórico de surgimento deste conceito, os financiamentos que permeiam essas ações bem como as perspectivas da tecnologia no Brasil.

15.2 Histórico e Evolução

A química verde surgiu no início dos anos de 1990 tendo como proposta o (re) planejamento de sínteses e de produtos químicos a fim de se evitar a poluição, sanando, também, diversos problemas ambientais.

[15] Trabalho realizado pela estagiária Nikole Fontana Almeida, em 2013.

Esta onda verde, segundo o Centro de Estudos Estratégicos – CGEE [2], foi introduzida pelo norte-americano Paul Anastas, PHD da Universidade de Yale, e por John C. Warner, professor da Universidade de Massachusetts, considerados pais da química verde e responsáveis pelos primeiros resultados relacionados à diminuição da toxidade e aumento da eficiência ecológica em processos químicos.

Foi no início da década de 90, mais precisamente em 1991, que os Estados Unidos começaram a investir em química verde. Prova disso, foi o lançamento do Programa "Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção da Poluição", lançado pela Agência Ambiental Norte-Americana – EPA, que previa o financiamento de projetos de pesquisa que tivessem como objetivo a prevenção da poluição em suas rotas sintéticas, ou seja, para que não haja a formação de derivados a síntese química precisa ser a mais direta possível, evitando etapas desnecessárias.

Seguindo esta linha, em 1993 a Itália também se interessou pela química verde e criou o Consórcio Universitário "Química para o Meio Ambiente" – INCA. Este programa reuniu grupos acadêmicos a fim de desenvolver pesquisas para prevenir a poluição, buscando por processos e produtos mais limpos.

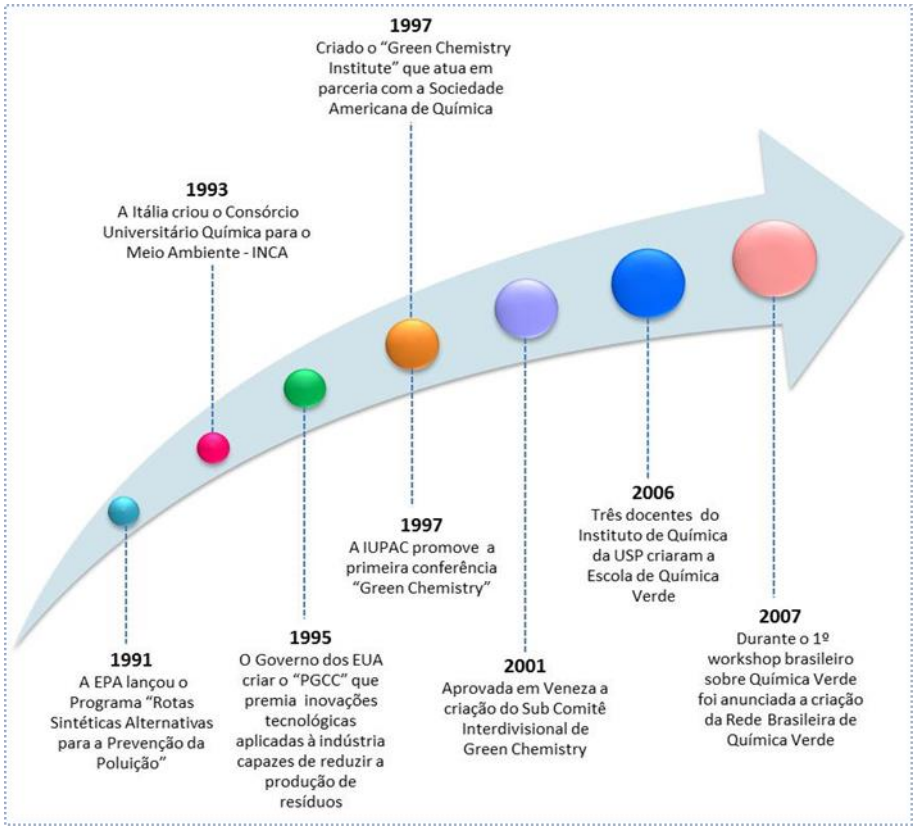
Dois anos mais tarde, os Estados Unidos voltaram a se destacar e instituíram, em 1995, o programa *The Presidencial Green Chemistry Challenge* – PGCC, que premia inovações tecnológicas aplicadas à indústria, tendo como objetivo reduzir a produção de resíduos em diversos setores da produção industrial.

Já em 1997foi criadoo *Green Chemistry Institute* que hoje atua em parceria com a Sociedade Americana de Química. Ainda neste ano a *International Union of Pure and Applied Cemistry* - IUPAC promoveu a Primeira Conferência Internacional em *Green Chemistry* – química verde.

No Brasil, os conceitos relacionados à química ambiental começaram a ganhar destaque através do "Grupo de Síntese Orgânica Limpa", do Instituto de Química e Geociências da Universidade Federal de Pelotas, no Rio Grande do Sul. E então, em 2006, três professores doutores (Reinaldo C. Bazito; Renato S. Freire e Leandro H. Andrade), do Instituto de Química, da Universidade de São Paulo – USP criaram a Escola de Química Verde.

No ano seguinte, em novembro de 2007, foi anunciada, em Fortaleza, durante o primeiro *workshop* brasileiro sobre Química Verde, a criação da Rede Brasileira de Química Verde, tendo como princípio promover inovações tecnológicas para empresas nacionais. A figura 15.1 [2] mostra a evolução da química com ao longo dos anos.

Figura 15.1 – A evolução da química verde



15.3 A Química Verde

Mas afinal, o que é a química verde, química ambiental ou química para o desenvolvimento sustentável? É o ramo da química que prevê a utilização de técnicas e metodologias, que aplicadas aos processos químicos, reduzam ou eliminem o uso de solventes e reagentes. Espera-se também, que haja uma diminuição, significativa, na geração de subprodutos tóxicos, nocivos à saúde humana e ao meio ambiente. "Química Verde consiste na utilização de um conjunto de princípios que reduzem ou eliminam o uso ou a geração de substâncias perigosas durante o planejamento, manufatura e aplicação de produtos químicos" (Site a Graça da Química) [3].

Para que a química verde seja aplicada é necessário utilizar tecnologias limpas nos processos produtivos, especialmente em países com indústria química desenvolvida e que apresentam rigoroso controle de emissão de poluentes, como é o caso da Europa, Japão e também dos Estados Unidos, países em que foram criados prêmios para incentivar pesquisadores, de universidades e indústrias, a desenvolverem tecnologias limpas.

Buscando difundir o conceito de química ambiental, os pais da química verde, Paul Anastas e John Warner, já listados neste estudo, condensaram os conceitos, objetivos e as linhas orientadoras da química verde, a fim de se obter processos ambientalmente corretos e menos prejudiciais ao meio ambiente. Então, a partir da contribuição de diversos autores foram formulados os 12 princípios da química verde, conforme mostra a figura 15.2 [2].

Figura 15.2 – Os 12 princípios da química verde

15.4 Cada Um Dos Princípios Da Química Verde

Partindo da aplicação dos 12 princípios da química verde, James H. Clark, da Universidade de York, no Reino Unido, introduziu o conceito de síntese ideal, considerando a saúde humana e a segurança da população e do meio ambiente. “Uma síntese ideal deve transformar os reagentes no produto final com rendimento e seletividade de 100%, recorrendo a processos seguros e ecologicamente aceitáveis” (PEREIRA, Mariette M.) [4].

Desta forma, torna-se necessário compreender e adotar cada um dos pilares da química verde, que serão listados a seguir, a fim de alcançar a sustentabilidade nos processos químicos.

15.4.1 Prevenção

A formação de resíduos deve ser evitada, visto que é mais oneroso e prejudicial ao meio ambiente tratar os resíduos depois de gerados. A figura 15.3 [5] mostra a geração exacerbada de resíduos aliada a errônea destinação final.

Figura 15.3 – Geração exacerbada de resíduos

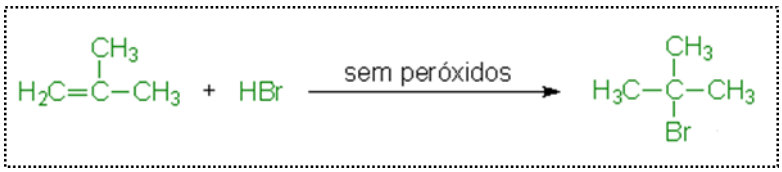
Segundo o Manual de "Implementação de um Programa de Prevenção à Poluição", da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (2002, p. 03) [6], a prevenção à poluição refere-se a qualquer prática, processo, técnica e tecnologia que visem à redução ou eliminação em volume, concentração e toxidade dos poluentes na fonte geradora. Inclui também modificações nos equipamentos, processos ou procedimentos, reformulação ou replanejamento de produtos, substituição de matérias-primas, eliminação de substâncias tóxicas, melhorias nos gerenciamentos administrativos e técnicosda empresa e otimização do uso de matérias-primas, energia, água e outros recursos naturais.

15.4.2 Economia de Átomos

Deve-se incorporar o maior número possível de átomos dos reagentes no produto final. Segundo Sanseverino (1999) [7], a reação ideal seria aquela onde toda a massa dos reagentes fosse incorporada no produto. A vantagem desta reação seria menor geração de resíduos e uma utilização mais efetiva de matérias-primas limitadas.

As reações químicas de adição, por exemplo, levam, geralmente, à incorporação de todos os átomos dos reagentes nos produtos finais. Desta forma, estas reações são ambientalmente preferíveis quando comparadas às de eliminação e substituição. A figura 15.4 [8] mostra a reação de adição do brometo de hidrogênio ao metilpropeno.

Figura 15.4 – Reação de adição do brometo de hidrogênio com o metilpropeno



Para calcular a economia de átomos da reação é necessário dividir o peso dos átomos utilizados pelo peso de todos os reagentes usados, a partir dos dados da tabela 15.1 [8].

Tabela 15.1 – Dados para cálculo da economia de átomos de uma reação química

Fórmula dos reagentes	Peso dos reagentes (PF)	Átomos utilizados	Peso dos átomos utilizados
C_4H_8	(12*4) + (1*8) = 56	4C e 8H	(12*4) + (1*8) = 56
HBr	(1*1) + (1*80) = 81	1H e 1Br	(1*1) + (1*80) = 81
Total	137 g/mol	4C, 9H e 1Br	137 g/mol

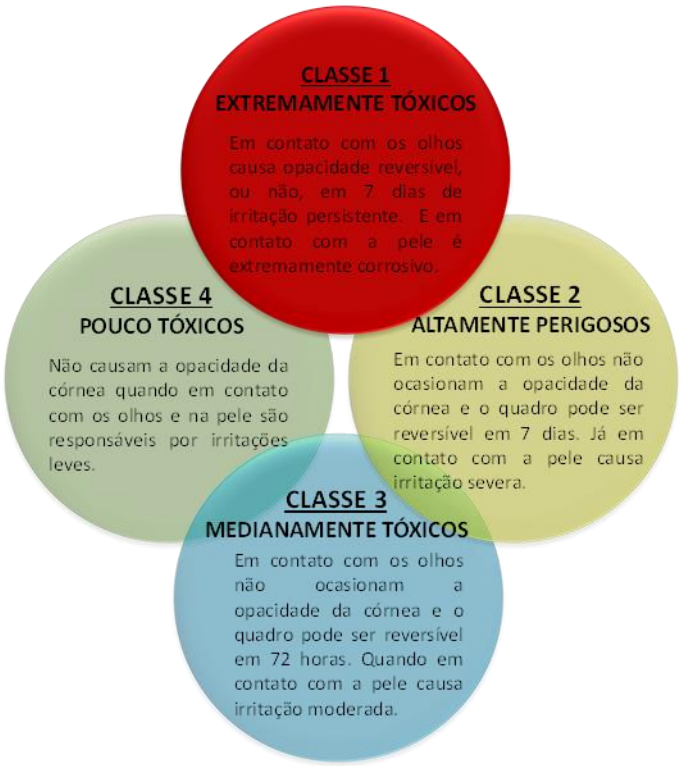
Nesta reação, a porcentagem de economia de átomos foi a ideal, ou seja, 100%, já que (137g/mol) / (137g/mol) * 100 = 100%.

15.4.3 Síntese Segura

As reações devem ocorrer com a utilização de compostos que apresentem pouco ou nenhum risco à saúde humana e ao meio ambiente, para tanto, torna-se necessário substituir produtos tóxicos por outros menos nocivos.

Tóxico é todo o produto que contém uma substância química capaz de causar danos a um sistema biológico, alterando uma função fisiológica e/ou levando o sistema à falência e morte (Portal Educação, 2009) [9]. A legislação brasileira divide os agrotóxicos, produtos técnicos e produtos formulados em quatro classes toxicológicas, delimitadas por cor, segundo o grau de periculosidade associada, conforme mostra a figura 15.5 [9].

Figura 15.5 – Classes toxicológicas de produtos



15.4.4 Desenvolvimento de Produtos Seguros

O desenvolvimento e uso de produtos que não causem danos ao meio ambiente deve ser priorizado. Segundo por Serrão e Silva (2010) [10] o quarto princípio é complementar ao terceiro, já que determina o desenvolvimento de novos produtos levando em conta a toxicidade dosreagentes envolvidos no processo e os possíveis danos ao ambiente provocados pelosprodutos gerados.

A figura 15.6 [11] mostra a substituição de combustíveis fósseis, como a gasolina, por etanol, forma encontrada para reduzir a quantidade de gases estufa lançados na atmosfera.

Figura 15.6 – Combustíveis verdes

15.4.5 Uso de Solventes e Auxiliares Seguros

O uso de substâncias auxiliares como solventes, agentes de purificação e secantes deve ser evitada. Quando da necessidade de utilizá-los prefira substâncias inócuas ou facilmente reutilizadas. Segundo Sanseverino (1999) [7], a não recuperação de solventes acarreta, geralmente, em um maior custo, em termos de tratamento de efluentes, além de ser um desperdício de um material que poderia ser reaproveitado.

15.4.6 Busca pela Eficiência de Energia

Processos químicos a temperatura e a pressão ambientes precisam ser desenvolvidos, a fim de minimizar o consumo de energia, gerando ganhos econômicos e ambientais.

Como exemplos destes processos destacam-se o uso de energia por micro-ondas e por ultrassom. As micro-ondas vêm sendo empregadas para dar agilidade às transformações químicas e também para promover reações em águas superaquecidas. Além disso, as reações, antes realizadas em solução, podem ser feitas sem solvente. Já o ultrassom tem importante efeito sobre reações em meio aquoso e bifásico, ocasionando aumento do rendimento e das velocidades das reações.

15.4.7 Uso de Fontes Renováveis de Matéria-prima

Devem ser utilizadas, sempre que possível, as substancias derivadas de plantas e de outras fontes biológicas renováveis ou recicláveis, como a biomassa. A figura 15.7 [12] mostra a biomassa vegetal.

Figura 15.7 – Biomassa vegetal

15.4.8 Evitar a formação de derivados

Processos que envolvam a utilização de reagentes intermediários com grupos bloqueadores, de proteção e desproteção ou qualquer modificação temporária da molécula devem ser evitados. Serrão e Silva (2010) [10] dizem que estes processos "requerem uma quantidade muito grande de reagentes adicionais o que ocasiona, consequentemente, a maior geração de subprodutos e derivados".

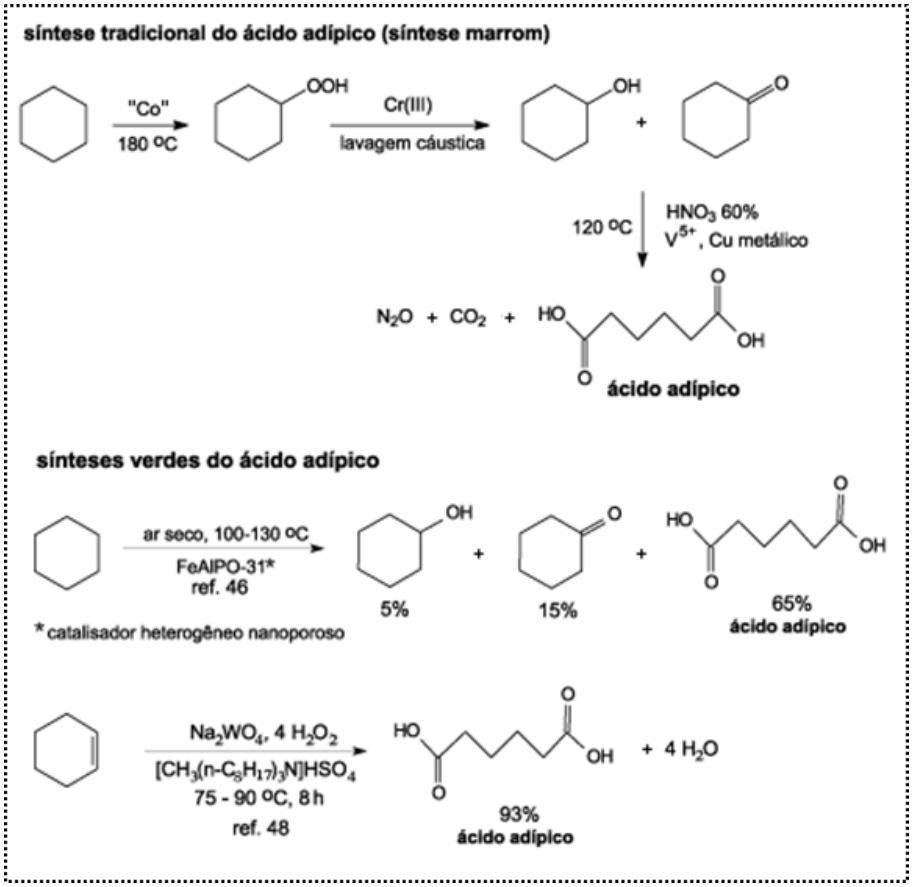
15.4.9 Catálise

A utilização de catalisadores, em substituição aos agentes estequiométricos, reduz, consideravelmente, a quantidade de reagentes e permite o uso de matérias-primas menos danosas ao meio ambiente.

Em geral, reações que utilizam catalisadores heterogêneos são mais limpas, mais seletivas e, como há possibilidade de reciclar e reutilizar o catalisador por várias vezes há, invariavelmente, vantagens econômicas. Além disso, grandes quantidades de resíduos são evitadas, pois há redução na formação de sais inorgânicos (LENARDÃO, 2003) [13].

Na figura 15.8 [13] são mostradas duas alternativas verdes para a preparação do ácido adípico, utilizado na fabricação do nylon 6-6, presente em fibras de carpete, tapeçaria, reforço de pneus e também em partes automotivas.

Figura 15.8 – Métodos de obtenção do ácido apídico



Buscando desenvolver um procedimento verde para a oxidação de hidrocarbonetos K. Barry Sharpless, Ryoji Noyori e Willian S. Knowles, agraciados com o Prêmio Nobel de Química, em 2001, eliminaram a utilização de ácido nítrico, HNO_3, na produção do ácido adípico, tornando o processo mais eficiente e economicamente mais atraente.

Segundo Lenardão (2003) [13] para a conquista dos resultados Noyori empregou condições de catálise de transferência de fase, e água oxigenada aquosa como agente oxidante. Já Thomas *et al.* utilizou a catálise heterogênea e ar como agente oxidante. Em ambos os casos a necessidade de solventes e a produção de resíduos tóxicos foi eliminada.

O único fator que impede que a síntese do ácido adípico atenda a todos os princípios da química verde é a matéria-prima, não renovável, utilizada (cicloexano e cicloexeno). Fora isso, os ganhos ambientais relacionados ao processo são enormes, tanto do ponto de vista energético quanto da eficiência atômica, se comparados aos métodos industriais comumente utilizados.

15.4.10 Desenvolvimento de Produtos Degradáveis

É necessário projetar os produtos químicos para que, ao final da sua vida útil, sejam fragmentados em produtos não prejudiciais ao meio ambiente. Neste contexto, os produtos biodegradáveis, mais seguros e menos tóxicos, devem ser priorizados.

A embalagem “eco” da marca de águas Crystal, da Coca-Cola, é um exemplo de produto ecologicamente correto. Com a proposta “faça um pedido e torça” as embalagens da marca têm até 30% menos de plástico, facilitando a sua decomposição na natureza. Além disso, as garrafas de 500 ml se utilizam da tecnologia “PlantBottle”, a partir da cana de açúcar, podendo ser torcida após o consumo, diminuindo, em 37% o seu volume e facilitando o processo de coleta e reciclagem, conforme mostra a figura 15.9 [14].

Figura 15.9 – Embalagem “*PlantBottle*” da Coca-Cola

15.4.11 Análise em tempo real para a prevenção da poluição

O monitoramento dos processos químicos, em tempo real, é de suma importância para detectar a presença de substâncias tóxicas, antes mesmo da sua geração, tornando-se necessário, desta-forma, criar mecanismos que possibilitem essa identificação.

15.4.12 Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes

Para que um processo seja considerado seguro, os riscos eminentes da indústria, como explosões, vazamentos, incêndios e outros precisam ser minimizados.

A fim de prevenir acidentes relacionados aos processos químicos é necessário identificar reações que usem materiais de partida não perigosos na composição do produto desejado. Isso minimiza os riscos para os funcionários de fábricas que lidam com substâncias químicas e impedem a liberação acidental de produtos químicos perigosos por vazamento ou explosão (PINHEIRO, LANDO E CARPES, 2012) [15].

Podem-se tomar como exemplo as reações de obtenção do ácido adípico, que utiliza, como material de partida, a benzina, que pode causar câncer. Em um processo recentemente desenvolvido, a benzina dá lugar à simples glicose de açúcar, evitando o uso de grandes quantidades do material tóxico.

15.5 Áreas De Atuação Da Química Verde

A química verde é dividida em nove áreas de atuação, cada qual com a sua particularidade, conforme ilustra a figura 15.10 [2].

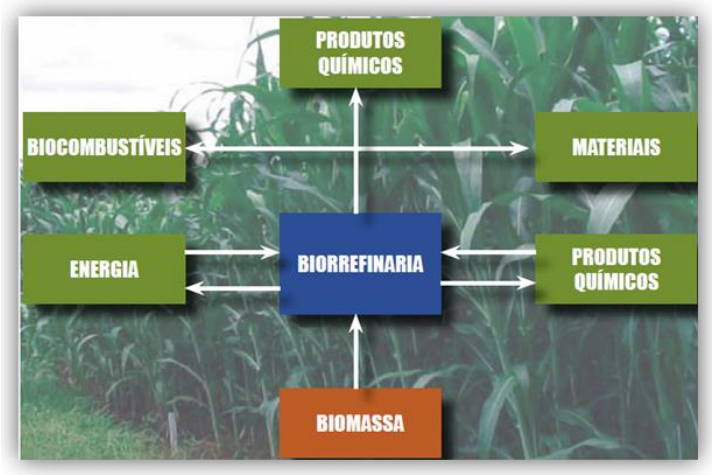
Figura 15.10 – Áreas de atuação da química verde – adaptada

15.5.1 Biorrefinarias

As Biorrefinarias constituem-se de instalações e processos através dos quais a biomassa é convertida em insumos químicos, materiais, alimentos, biocombustíveis, reações e energia.

Podem-se enquadrar as Biorrefinarias como refinarias que utilizam uma matéria-prima alternativa ao petróleo, ou seja, a biomassa quer na forma de produtos de origem animal ou vegetal, como óleos vegetais e gorduras animais, ou ainda, rejeitos de origem orgânica como, por exemplo, o bagaço e a palha da cana (CGEE, 2010) [2]. A figura 15.11 [16] mostra o esquema de uma Biorrefinaria.

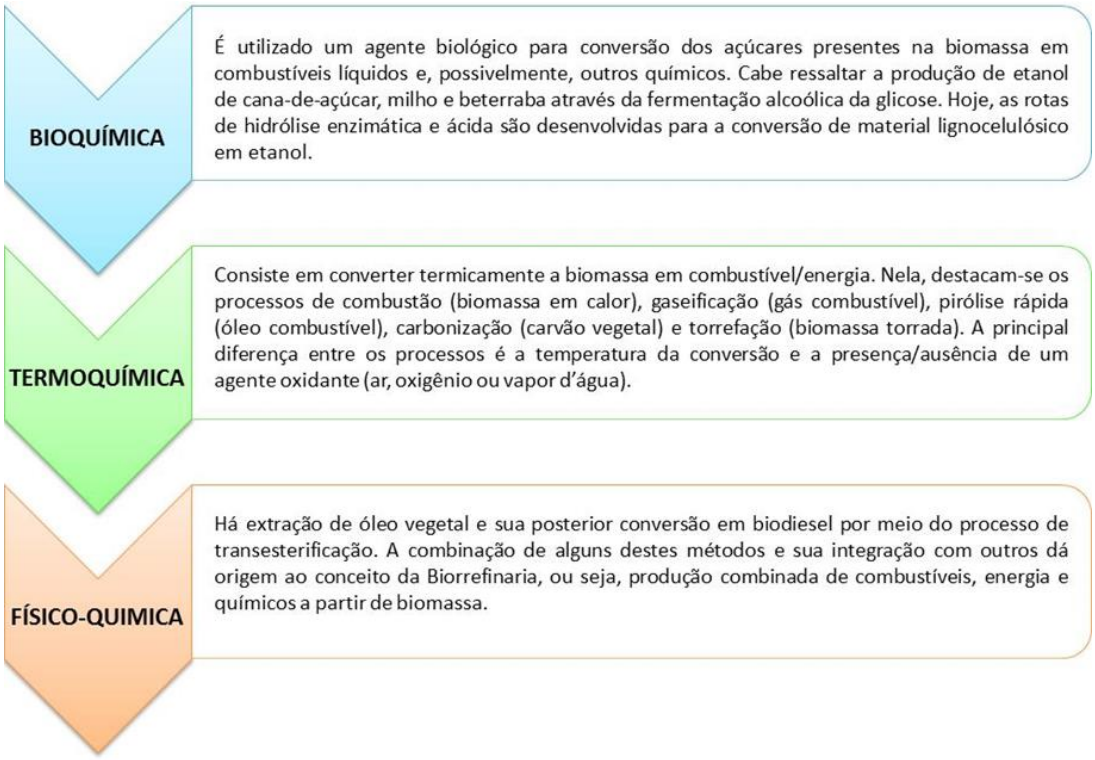
Figura 15.11 – Esquema de Biorrefinaria



Podem ser apontadas como exemplos de Biorrefinarias as usinas produtoras de açúcar, etanol e bioeletricidade, a partir da cana-de-açúcar, e as fábricas de óleo, rações, biodiesel e diversos outros derivados da soja.

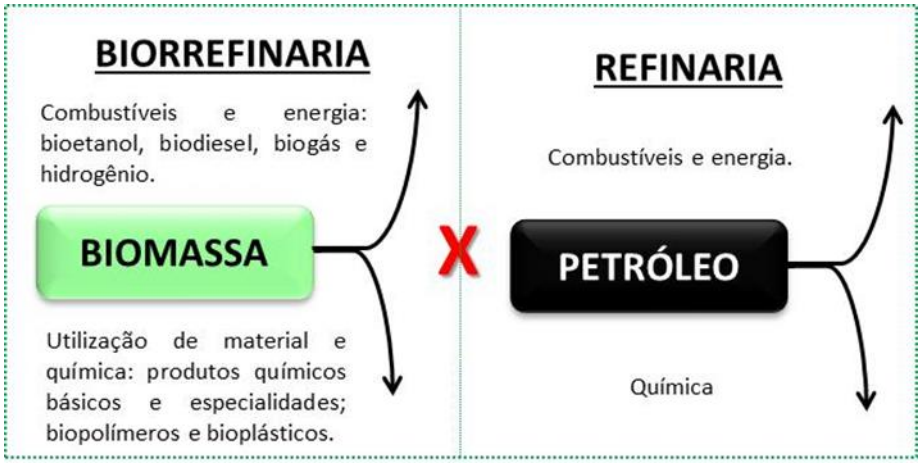
A fim de se obter o melhor aproveitamento da biomassa são empregadas rotas de conversão como, por exemplo, a bioquímica, termoquímica e físico-química, que podem ser vistas na figura 15.12 [17].

Figura 15.12 – Rotas de conversão da biomassa em energia



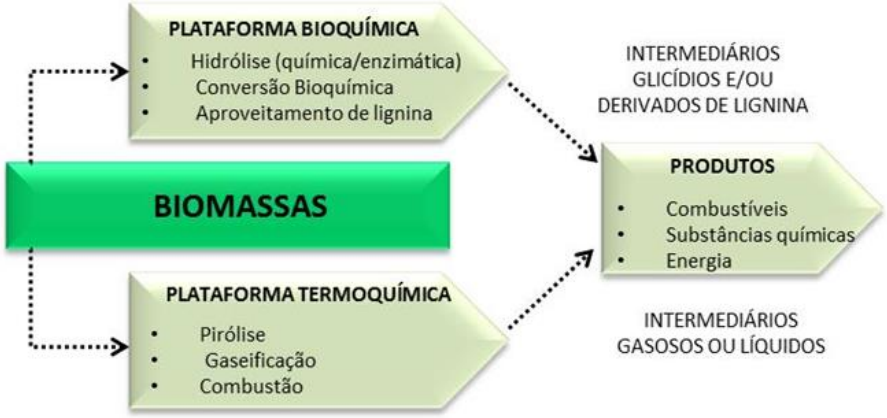
Comparadas às refinarias, que tem como função decompor o petróleo em subprodutos como a gasolina, o diesel e o querosene, as Biorrefinarias empregam processos e matérias primas sustentáveis, menos prejudiciais ao meio ambiente. A figura 15.13 [18] mostra um comparativo entre as Biorrefinarias e às refinarias.

Figura 15.13 – Biorrefinarias X Refinarias – adaptada



Nas Biorrefinarias, de forma geral, haverá produtos de grande volume e de baixo valor econômico unitário, como os biocombustíveis. E em contrapartida, haverá também produtos de pequeno volume, mas de alto valor agregado, como as especialidades químicas, aditivos e outros (EMBRAPA Agroenergia) [16]. A figura 15.14 [2] apresenta as Biorrefinarias por rota bioquímica e termoquímica.

Figura 15.14 – Rotas de uma Biorrefinaria – adaptada

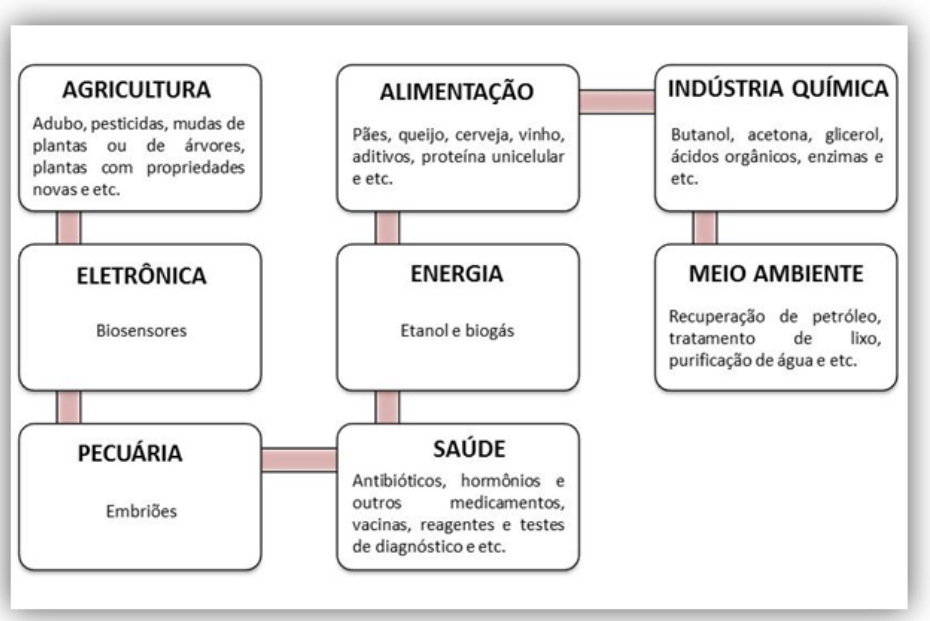


15.5.1.1 Biorrefinarias: Rota Bioquímica

A rota bioquímica para obtenção de produtos, serviços e biocombustíveis vai de encontro à biotecnologia, ou seja, ao emprego de agentes biológicos como organismos, moléculas e células nos processos químicos a fim de se obter o resultado desejado.

A rota bioquímica ainda requer melhoramento das características da matéria-prima, redução de custos por meio de adequados processos de pré-tratamento, melhoramentos da eficácia das enzimas, redução dos custos de produção, melhoria completa e integração de processo (BASTOS, 2012) [19]. A figura 15.15 [20] mostra os produtos de origem biotecnológica, por setor.

Figura 15.15 – Produtos de origem biotecnológica



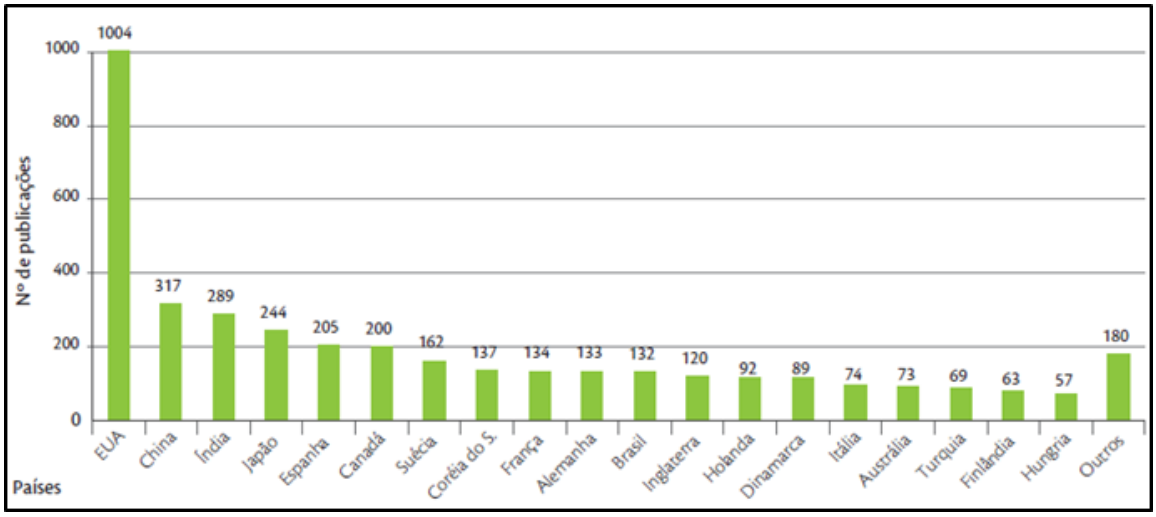
15.5.1.2 Panorama Mundial da Rota Bioquímica

A fim de relacionar o grau tecnológico associado ao tema "Biorrefinarias: Rota bioquímica", o Centro de Estudos Estratégicos – CGEE [2] utilizou-se de dois bancos de dados, a *Web of Science* e o *Derwent Innovations Index*, responsáveis, respectivamente, por produções científicas e de propriedade intelectual.

A partir da coleta de dados e considerando o período de 1998 a 2009, foi possível traçar o panorama mundial e nacional da rota Bioquímica. O cenário mundial aponta para a identificação de 3.774 publicações científicas e 1.359 patentes.

No *ranking* dos 91 países com maior número de publicações científicas relacionadas ao tema, os Estados Unidos são os que mais produzem, somando 1.004, seguido por China e Índia com, respectivamente, 317 e 289 publicações. Neste *ranking* mundial, o Brasil ocupa a 11ª colocação, com 132 artigos. A figura 15.16 [2] mostra as publicações científicas sobre Biorrefinarias: rota bioquímica.

Figura 15.16 – Produção Científica Biorrefinarias: Rota Bioquímica



15.5.1.3 Panorama Nacional Da Rota Bioquímica

Das 132 publicações científicas brasileiras, 124 são advindas de Universidades, sendo o restante proveniente de outras instituições. O Estado de São Paulo é o que publica mais, registrando 53, e a USP, no mesmo estado, é a Universidade com o maior número de artigos, 24.

As figuras 15.17 [2] e 15.18 [2], adaptadas da fonte, mostram, respectivamente, o número de publicações por Estado e por Universidade.

Figura 15.17 – Estados com o maior número de publicações científicas

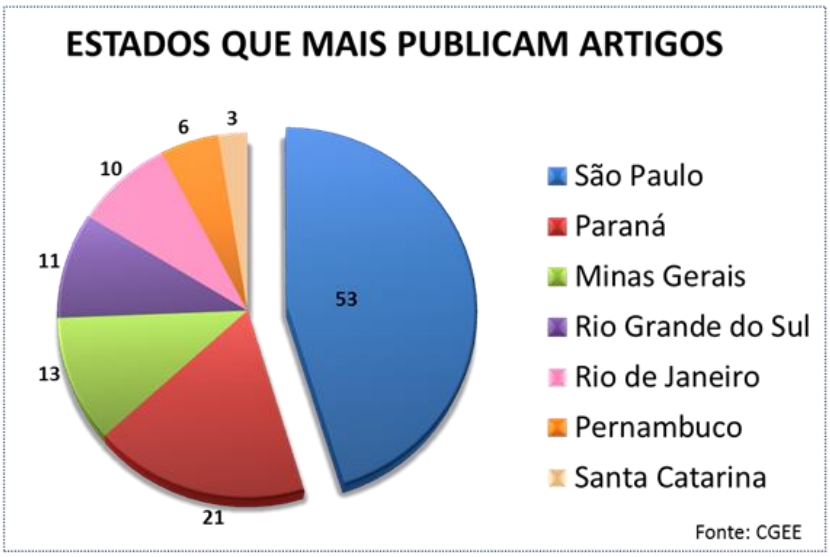


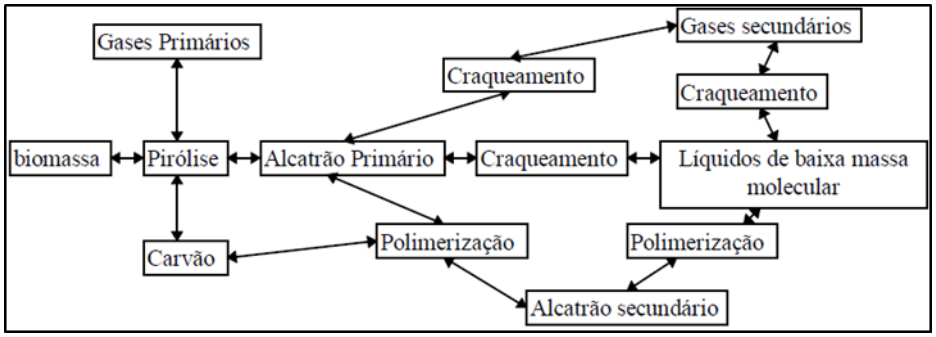
Figura 15.18 – Número de publicações por Universidade

15.5.1.4 Biorrefinarias: Rota Termoquímica

A rota termoquímica para aproveitamento energético da biomassa se dá através do processo de pirólise, ou seja, pela ação do calor e do fogo.Na pirólise, uma reação química de decomposição ou análise, é submetida a altas temperaturas decompondo determinada substância em dois ou mais produtos.

Durante a pirólise de materiais ligno-celulósicos, por exemplo, há formação de carvão vegetal, alcatrão e gases não condensáveis. A figura 15.19 [21] mostra as etapas de pirólise da biomassa vegetal.

Figura 15.19 – Etapas de pirólise da biomassa vegetal

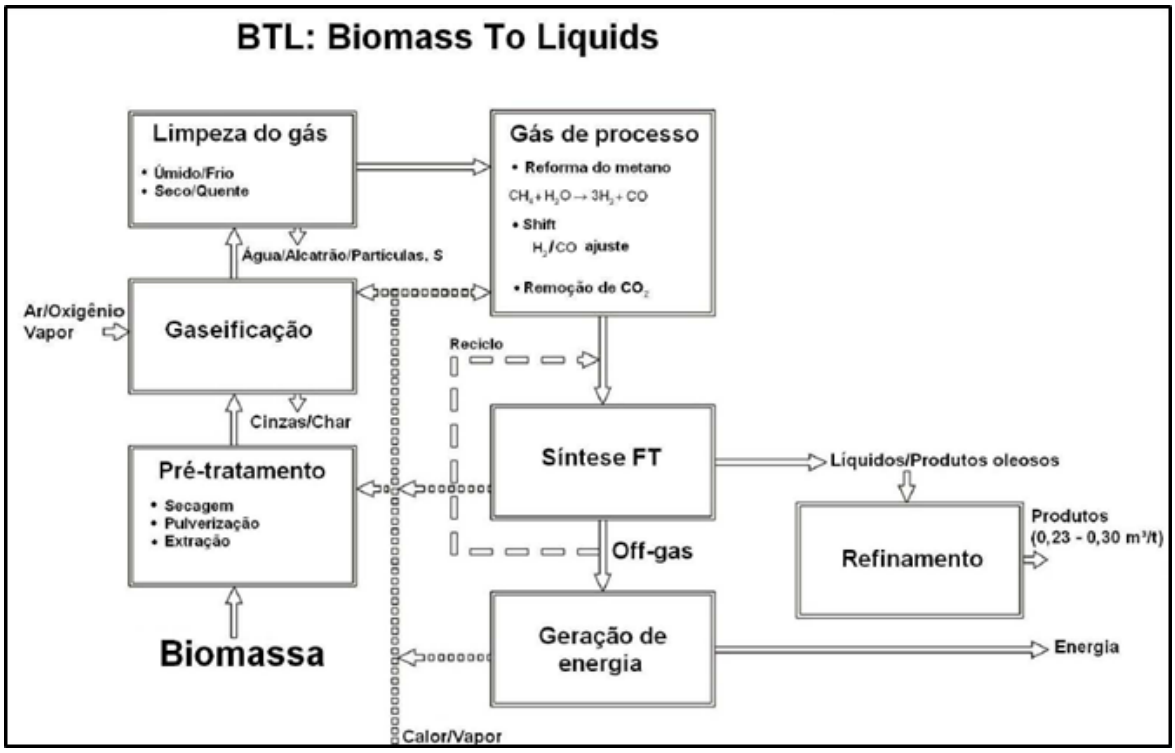


Fonte: UNICAMP

A rota termoquímica através da pirólise e/ou gaseificação da biomassa, passa pela obtenção de gás de síntese, seguido da síntese catalítica ou da fermentação, o que torna possível a obtenção de hidrocarbonetos, álcoois, hidrogênio, amônia e gás natural sintético (LORA, 2008) [22].

É importante tratar a gaseificação como sendo a conversão termoquímica da biomassa com fornecimento de oxigênio, em quantidades sub-estequiométricas, em um gás com altos teores de CO, H_2 e CH_4. Já o gás de síntese pode ser definido como uma mistura de gases de composição química variada, basicamente constituída de H_2 e CO_2. A figura 15.20 [22] mostra as etapas do processo de obtenção de biocombustíveis através da rota termoquímica.

Figura15.20 – Obtenção de biocombustíveis por rota termoquímica



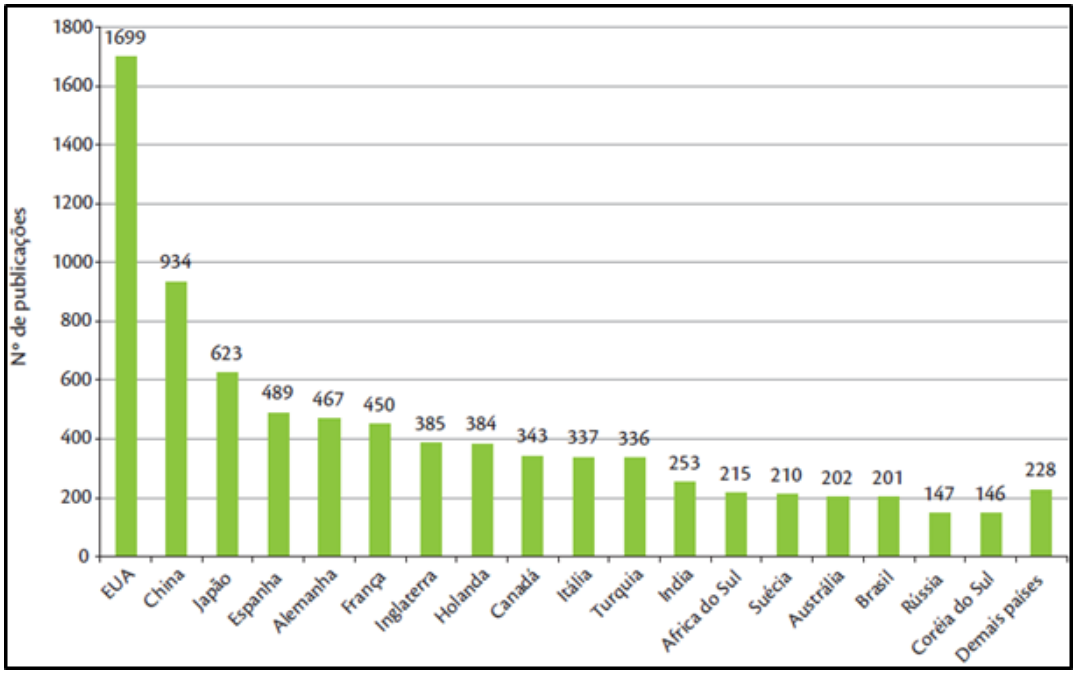
15.5.1.5 Panorama Mundial Da Rota Termoquímica

O panorama mundial foi determinado a partir de levantamentos nos bancos de dados anteriormente relacionados. Considerando o período de 1998 a 2009 foram identificadas 7.903 produções científicas e 4.802 patentes.

No *ranking* dos países com o maior número de publicações relacionadas ao tema os Estados Unidos se destacam, mais uma vez, registrando 1.699, seguidos de China, com 934 e Japão, com 623. Dentre 101 países que possuem publicações, o Brasil ocupa a 16ª colocação, com 201.

A figura 15.21 [2], adaptada da fonte, destaca a posição do Brasil no *ranking* mundial de publicações.

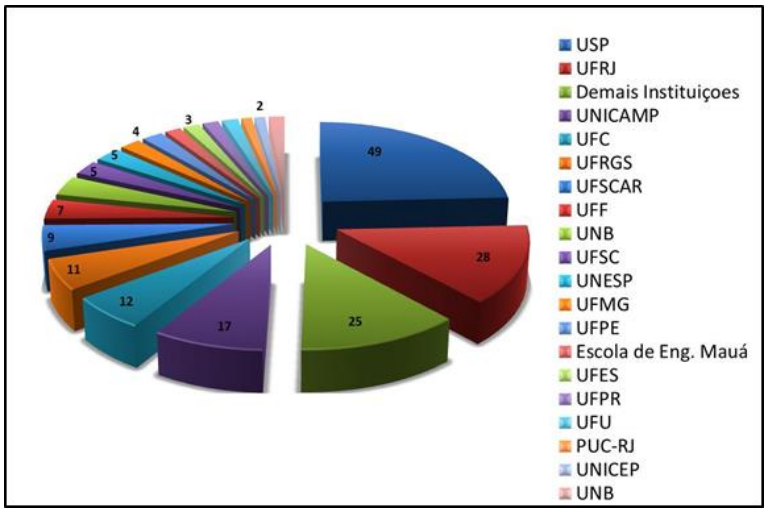
Figura 15.21 – Número de publicações científicas sobre rota termoquímica



15.5.1.6 Panorama Nacional Da Rota Termoquímica

Das 201 publicações científicas brasileiras, a Universidade de São Paulo é a que mais investe registrando 49 artigos, seguida da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 28, Universidade Estadual de Campinas, 17, Universidade Federal do Ceará, 12 e Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com 11 publicações. A figura 15.22 [2], adaptada da fonte, mostra as publicações científicas por universidade e instituição.

Figura 15.22 – Publicações científicas por Universidade/Instituição

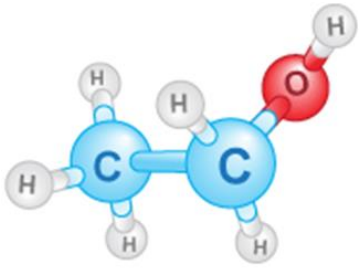


No gráfico, a legenda demais instituições faz referência ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; à Petrobrás. Cenpes; ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq; à Embrapa Soja; ao Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF e ao Instituto Nacional de Pesquisa Amazônica – INPA.

15.5.2 Alcoolquímica

A alcoolquímica aponta para a utilização de etanol ou álcool etílico como matéria-prima para a fabricação de diversos produtos químicos. Grande parte dos produtos derivados de petróleo pode ser obtida a partir de etanol, como, por exemplo, o eteno, matéria-prima para a fabricação de resinas. A figura 15.23 [23] mostra a estrutura molecular do etanol.

Figura 15.23 – Estrutura tridimensional do etanol



A Braskem inaugurou em 2010, no Rio Grande do Sul, uma Unidade de Eteno Verde, com capacidade de produção de 200 mil toneladas/ano, tendo como matéria-prima o etanol de cana-de-açúcar. A figura 15.24 [24] mostra a Unidade de Eteno Verde da Braskem.

Figura 15.24 – Unidade de Eteno Verde da Braskem

A indústria alcoolquímica vem ganhando espaço devido ao crescente interesse das empresas em investir em empreendimentos sustentáveis, ambientalmente corretos e economicamente viáveis. A tendência deve-se também à

valorização dos produtos químicos produzidos a partir de recursos renováveis e ao baixo custo do etanol brasileiro.

15.5.2.1 Panorama Mundial e Nacional da Alcoolquímica

O crescimento da indústria alcoolquímica está associado ao desenvolvimento de processos, que comparados aos tradicionais, acarretem menores custos de produção e investimentos associados. Para isso, torna-se necessário diminuir as etapas de síntese química e utilizar-se de catalisadores multifuncionais, capazes de acelerar as reações.

No contexto mundial, por exemplo, os grandes produtores de petróleo, situados no Oriente Médio, tem visto o etanol como uma importante fonte para a geração de subprodutos e intermediários com diferencial mercadológico, ou seja, provenientes de matéria-prima sustentável.

A China anunciou a construção de unidades voltadas para o eteno alcoolquímico. A Heyang Ethanol and Bio-Glycols, situada neste país, pretende produzir 87 mil toneladas/ano de óxido de etileno, a partir do eteno proveniente do etanol. O etanol de segunda geração, obtido a partir do bagaço da cana e resíduos celulósicos, vem recebido investimentos, principalmente, por parte dos países de primeiro mundo.

A modernização da alcoolquímica está associada, naturalmente, ao desenvolvimento de novos processos que envolvam menores custos de produção e investimento que os tradicionais. Frequentemente, esses novos processos referem-se à diminuição das etapas de síntese e catalisadores multifuncionais são capazes de conduzir essas reações (CGEE, 2010) [2].

O Brasil é o país que mais desperta o interesse da indústria alcoolquímica, isto ocorre devido à disponibilidade dos recursos existentes e ao baixo custo de obtenção do etanol. Segundo informações do site “biodieselbr” [25], o Brasil é o país mais avançado, do ponto de vista tecnológico, na produção e uso do etanol como combustível seguido pelos Estados Unidos e, em menor escala, pela Argentina, Quênia, Malawi e outros. A produção mundial de álcool aproxima-se dos 40 bilhões de litros, dos quais 15 bilhões pertencem ao Brasil.

A fim de se enquadrar na perspectiva renovável, empresas brasileiras do setor petroquímico tem empregado o etanol como matéria-prima para muitos dos seus processos. A figura 15.25 [2], adaptada da fonte, mostra as empresas brasileiras que investem no etanol.

Figura 15.25 – Empresas brasileiras que investem no etanol

Fonte: CGEE

15.5.3 Óleoquímica

A óleoquímica compreende processos de transformação de óleos vegetais e gorduras animais em produtos de alto valor agregado. Inclui também os novos processos que estão sendo objetos de P, D&L em consequência da utilização de matérias-primas oleaginosas como fontes de biodiesel. Estas matérias-primas são essencialmente ésteres metílicos e etílicos de ácidos graxos empregados como substitutos de combustíveis utilizados em motores a diesel (CGEE, 2010) [2].

A crescente preocupação com o meio ambiente fez com que a indústria óleoquímica retomasse seu prestígio frente aos derivados de petróleo, garantindo processos mais limpos e econômicos.

A primeira indústria de álcoois graxos da América Latina é brasileira. Localizada no Pólo Petroquímico de Camaçari, na Bahia, a "Óleoquímica Indústria e Comércio de Produtos Químicos" é a primeira a fabricar álcoois graxos a partir do óleo de palmiste, utilizado nas indústrias de cosméticos e alimentos. Segundo informações do Jornal Primeira Página [26], a unidade industrial é subsidiária da Oxiteno e produz, anualmente, cerca de 80 toneladas de álcoois graxos. Além disso, a capacidade de produção de óleos graxos é de 100 mil toneladas/ano. A figura 15.26 mostra esta indústria.

Figura 15.26 – Óleoquímica Indústria e Comércio de Produtos Químicos

15.5.3.1 Matérias primas oleaginosas e proteoleaginosas

Os óleos vegetais e as gorduras animais fazem parte do cotidiano da humanidade desde os tempos mais remotos. Eles são empregados na iluminação da casa; na produção de sabão, produtos de limpeza, cosméticos e perfumaria; estão presentes em gêneros alimentícios como em óleos de salada, produtos lácteos, biscoitos, bolos e muitos outros. Os oleaginosos ainda permitem a geração de biocombustíveis.

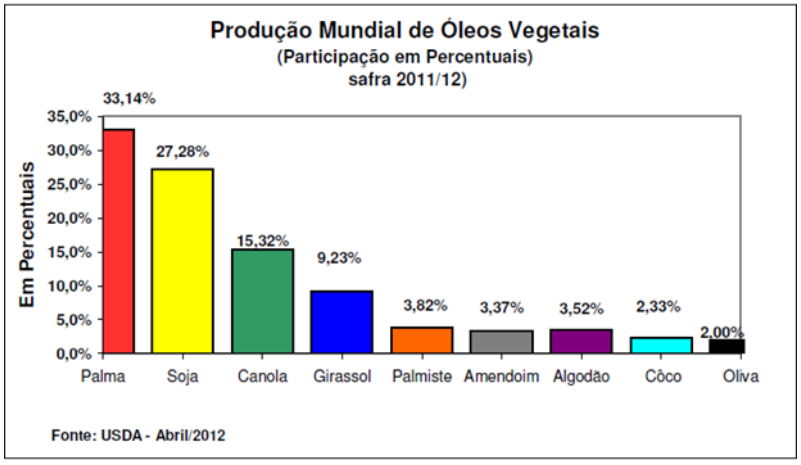
O Brasil, grande produtor de oleaginosas, ostenta privilegiada situação quanto à disponibilidade de matérias-primas, decorrentes de uma biodiversidade inigualável. Segundo informações do Portal Brasil [27], além da diversidade de solo, clima e tipos de oleaginosas – são mais de 100 plantas com potencial energético – cada região do Brasil tem sua vocação natural para a produção do biodiesel, como as palmáceas do Norte (dendê e babaçu) ou a soja, no Centro-Sul.

Por possuir uma cadeia produtiva já estruturada, a soja é a cultura mais utilizada na fabricação do biodiesel brasileiro, respondendo por cerca de 80% da produção. A figura 15.27 [28] mostra a produção de oleaginosas por região do Brasil.

Figura 15.27 – Produção de Oleaginosas por região do Brasil

Um dos maiores condicionantes relacionado à utilização de oleaginosas para a produção de insumos industriais se refere à disponibilidade de recursos. Em regiões em que há pouca variedade e quantidade de gêneros como a soja, o milho, o girassol e o dendê, o uso dos mesmos para fins energéticos pode ser entendido como prejudicial, considerando a alimentação humana e a animal. A figura 15.28 [29] mostra a produção mundial de óleos vegetais – safra 2011/12.

Figura 15.28 – Produção Mundial de Óleos Vegetais



15.5.3.2 Obtenção de matérias-primas

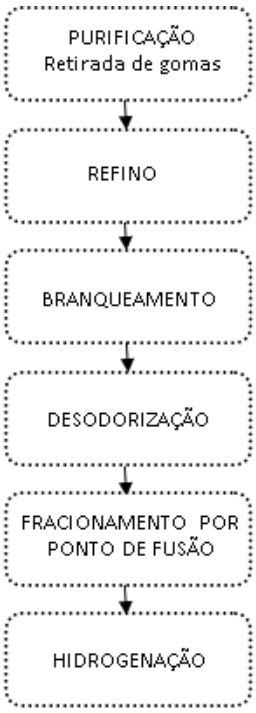
As matérias-primas animais e vegetais são extraídos através de processos distintos. As gorduras animais, por exemplo, advém de tecidos gordurosos que constituem os resíduos dos abatedouros. Para que a gorduras animais possam ser utilizadas é necessário submetê-las a um dos dois processos a seguir:

- Via Seca: Utiliza-se somente do calor para secar o material, liberando as gorduras;

- Água quente ou vapor: Ao ser submetida a um destes processos, as gorduras são separadas por decantação ou centrifugação.

Já os óleos vegetais podem ser extraídos por prensagens ou por extração com solventes, sendo esta última mais utilizada por apresentar melhores rendimentos. Existe também a extração por gás carbônico supercrítico, processo bastante oneroso, utilizado somente para gerar produtos de alto valor agregado, como, por exemplo, óleos essenciais de perfumaria. A figura 15.29 [2], adaptada da fonte, mostra as etapas do processo de extração com solventes.

Figura 15.29 – Etapas do processo de extração com solventes



Resíduos como a glicerina, os ácidos graxos, compostos nitrogenados graxos, álcoois graxos e demais insumos são também matérias-primas para geração de produtos para a indústria óleoquímica.

Faz-se necessário distinguir os ácidos graxos dos álcoois graxos para uma melhor compreensão do assunto.

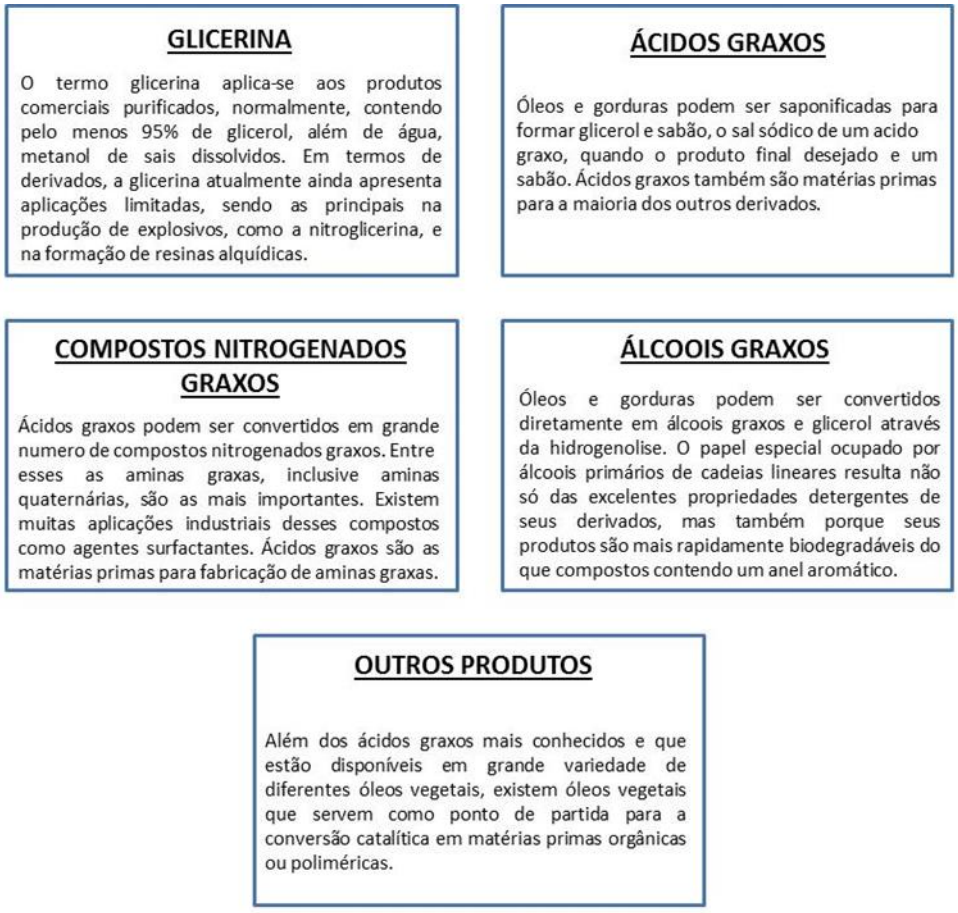
- Ácido graxo: Segundo informações da Infoescola [30], o ácido graxo é um ácido carboxílico (COOH) de cadeia alifática. São considerados componentes orgânicos, ou em outras palavras, eles contêm carbono e hidrogênio em suas moléculas. Estes ácidos são produzidos quando as gorduras são quebradas. São altamente solúveis em água, e podem ser usados como energia pelas células. São classificados em monoinsaturados, poli-insaturados, ou saturados.

- Álcool graxo: De acordo com o GoldenMap [31], os álcoois graxos são álcoois alifáticos derivados de gorduras e óleos naturais (lipídios), originários de plantas, mas também sintetizados em animais e algas.

Tem, usualmente, regular número de átomos de carbono. A produção de ácidos graxos rende álcoois de cadeia normal—o grupo álcool (-OH) liga-se ao carbono terminal. Outros processos podem render iso-álcoois—onde o grupo álcool liga-se ao carbono no interior da cadeia de carbonos.

A figura 15.30 [2], adaptada da fonte, mostra as matérias-primas para a indústria óleoquímica.

Figura 15.30 – Aplicabilidade de matérias-primas



Fonte: CGEE

15.5.3.3 Panorama mundial e nacional da óleoquímica

No tema alcoolquímica, o número de publicações científicas e patentes tem crescido gradativamente, revelando o interesse dos países pelo tema. Segundo o CGEE [2], a primeira patente foi requerida em 1989, por Wimmer Theodor, da Austrália. Já o Brasil teve sua primeira patente solicitada em 2003 e publicou seu primeiro artigo no ano 2000, abordando a temática "produção do biodiesel a partir de óleo de fritura".

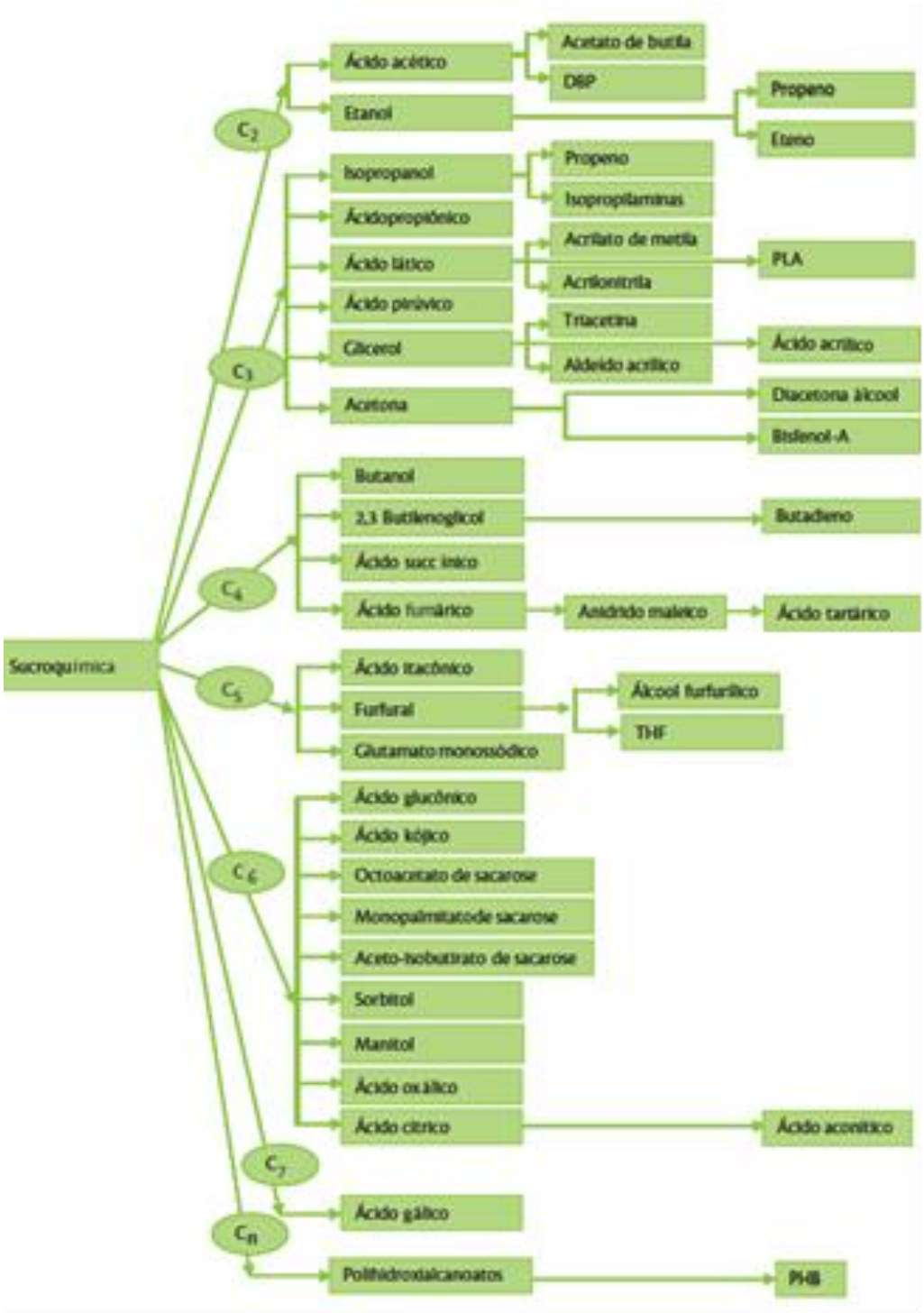
Países como Índia, Turquia, Espanha, Itália e Coréia perfazem o grupo que apenas tem publicado artigos com os temas da óleoquímica. Já com relação aos países que geram conhecimento científico e apropriam conhecimento tecnológico destacam-se os Estados Unidos, seguidos por China, Japão, Canadá, Coréia do Sul, Alemanha e Reino Unido.

15.5.4 Sucroquímica

O tema sucroquímica no cenário brasileiro remonta ao cultivo da cana-de-açúcar, já que o país é o maior produtor mundial deste vegetal. Segundo dados da BIOSEV [32], o setor sucroalcooleiro foi responsável por aproximadamente 2% do PIB Nacional e 8% do PIB da agricultura do Brasil em 2011, tendo empregado cerca de 4,5 milhões de pessoas.

Da cana de açúcar é extraída a sacarose, utilizada na produção de açúcar e álcool. A cana colhida contém a porção líquida, que é o caldo e também fibras de origem lignocelulósica, como o bagaço e a palha. A queima do bagaço produz, segundo dados da Embrapa, cerca de 4450 kcal/kg. A figura 15.31 [2], adaptada da fonte, mostra os produtos oriundos da indústria sucroquímica.

Figura 15.31 – Produtos oriundos da indústria sucroquímica



15.5.4.1 Panorama Mundial e Nacional da sucroquímica

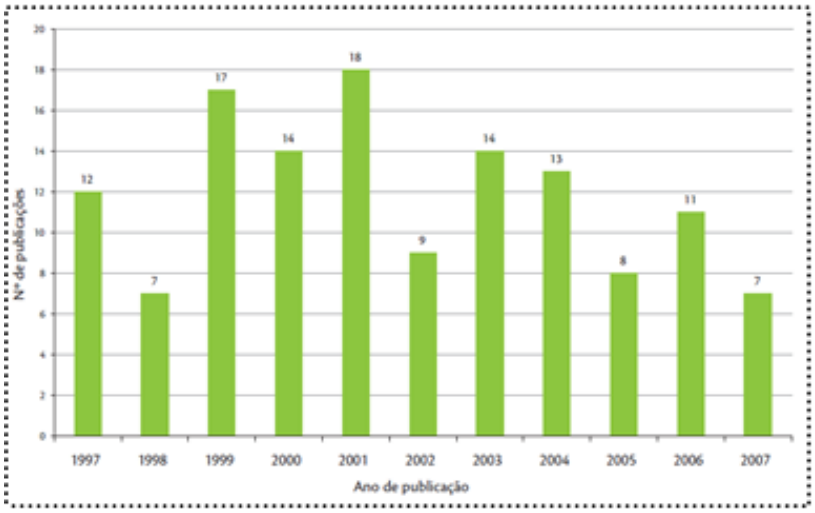
A fim de quantificar as publicações relacionadas ao tema foram realizadas buscas no banco de dados *Web of Science*, considerando o período de 1999 a 2009. Neste período, foram registrados 7.580 artigos, conforme mostra a figura 15.32 [2], adaptada da fonte.

Figura 15.32 – Publicações Científicas sobre o tema sucroquímica

Dos 173 artigos de origem brasileira, o Estado de São Paulo é responsável por 50% das publicações, sendo a USP, do mesmo estado, responsável por 49, seguida pela Universidade Estadual de Campinas, com 19 e pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, com 10 e também, por outras instituições.

Já com relação ao número de patentes, utilizou-se o banco de dados *Derwent Innovations Index.* Foram identificados 587 patentes, sendo 137 delas focadas exclusivamente em sucroquímica, conforme mostra a figura 15.33 [2].

Figura 15.33 – Evolução das patentes sobre o tema sucroquímica



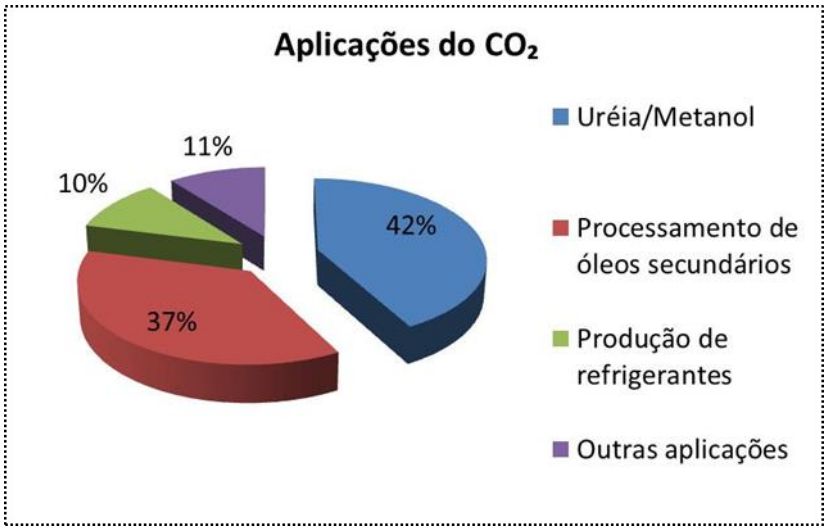
15.5.5 Conversão De CO_2

O avanço tecnológico, em algum aspecto, trás consigo o aumento das emissões de gases estufa, fazendo-se necessário o desenvolvimento de tecnologias limpas que contribuam para a redução dos gases poluentes, principalmente do gás carbônico - CO_2.

A mais famosa tentativa de amenizar esses efeitos ocorreu em 1997, em Kyoto, no Japão. Trata-se do Protocolo de Kyoto, documento no qual, nações industrializadas, se comprometeram a reduzir as suas emissões de gases estufa. Um dos maiores desafios do Protocolo se refere aos Estados Unidos, país que responde a 1/3 das emissões poluentes do planeta, segundo o site Planeta Sustentável [33], e que não aderiu ao acordo, argumentando que sua economia seria prejudicada.

Sendo um gás abundante, o CO_2 pode ser considerado como uma matéria-prima de futuro para uso em processos químicos de sínteses orgânicas. O CO_2 reage com o hidrogênio e alcoóis, por exemplo, na presença de catalisadores metálicos, visando à preparação de: alcoóis, ácidos carboxílicos, ácidos ß-oxinaftóicos (usados como matéria prima para a indústria de corantes); ácido salicílico e seus derivados (que têm aplicação na indústria farmacêutica e de conservantes alimentícios); carbonatos orgânicos (com aplicações como solventes), amidas, policarbonatos, poliuretanos e outros derivados. (CGEE, 2010) [2]. A figura 15.34 [2], adaptada da fonte, mostra os campos de aplicação industrial do CO_2.

Figura 15.34 – Campos de aplicação industrial do CO_2

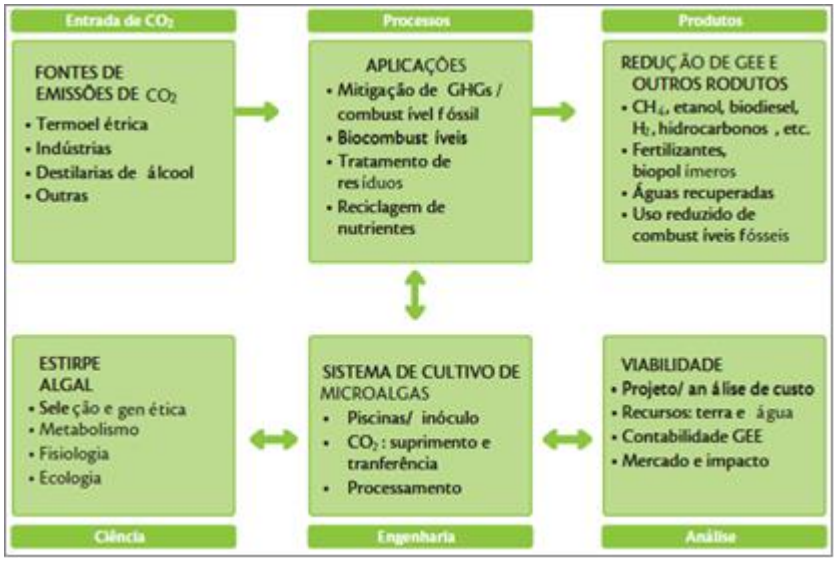


Uma interessante alternativa para conversão de gás carbônico pode ser feita por intermédio de microalgas, através das quais o CO_2 é biofixado. Estas algas possuem vantagens frente às plantas convencionais, pois se proliferam rapidamente e toleram ambientes extremos. Enquanto plantas terrestres sequestram, aproximadamente, 0,036% de CO_2, as microalgas, que podem utilizar gases de escape das chaminés, atingem de 10 a 20%.

As microalgas são fixadoras eficientes de carbono atmosférico através da fotossíntese. Estima-se que cada tonelada de biomassa de alga produzida consuma 1,83 toneladas de CO_2. Isso representa dez a vinte vezes mais do

que o absorvido pelas culturas de oleaginosas (CGEE, 2010) [2]. A figura 15.35 [2] apresenta o esquema de biofixação de CO_2 por microalgas.

Figura 15.35 – Biofixação de CO_2 por microalgas



15.5.5.1 Panorama Mundial E Nacional Da Conversão De CO_2

Os levantamentos nos bancos de dados *Web of Science e Derwent Innovations Index*, durante o período de 1998 a 2009,resultaram, respectivamente, em 5.859 produções científicas e 5.303 patentes.

Das 5.859 produções, 1.233 pertencem aos Estados Unidos, líder deste ranking, que tem 112 países. A segunda nação com o maior número de artigos é a China, com 727. O Brasil ocupa a 16ª colocação, ao lado da Polônia, com 123.

Das 123 publicações brasileiras, a Universidade de São Paulo é a que mais publica, somando 24. A Universidade Federal do Rio de Janeiro, com 13 e a Universidade Estadual de Campinas, com 12 são, respectivamente, a 2ª e 3ª colocadas. É importante salientar que das 123 publicações, 49 são advindas do estado de São Paulo.

No Brasil, a Petrobrás Biocombustível em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, inaugurou, em 2012, em Extremoz, localizada a 16 km de Natal, uma planta piloto, que cultiva microalgas para a produção biodiesel. As microalgas foram escolhidas, segundo informações do site da Globo [34], devido à potencialidade de produção, além de atuar na absorção de CO_2 e limpeza da água. A figura 15.36 [34] mostra o tanque de cultivo das microalgas, com capacidade para 4 mil litros.

Figura 15.36 – Tanque de cultivo de microalgas

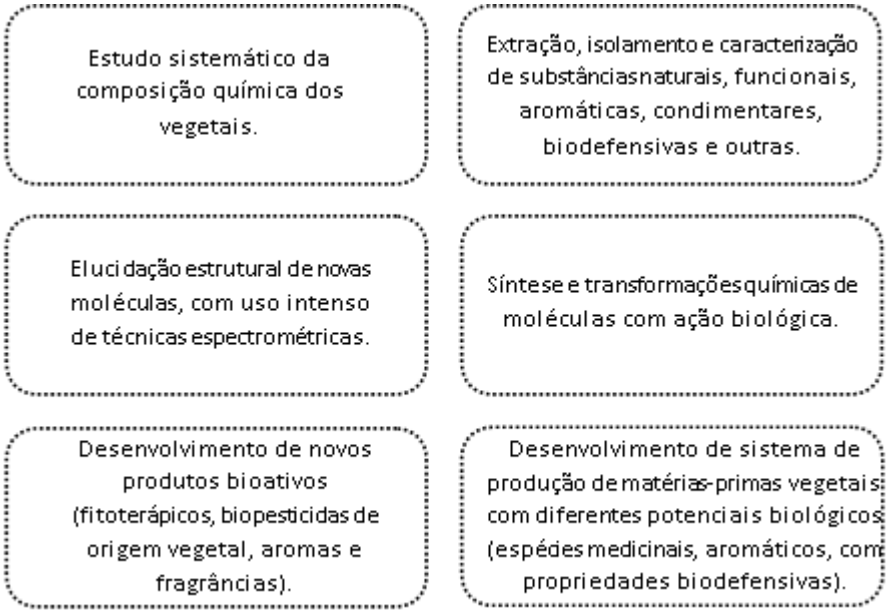
15.5.6 Fitoquímica

A fitoquímica é a ciência que se encarrega do estudo dos componentes químicos dos vegetais, abrangendo desde a estrutura molecular até as propriedades biológicas dos mesmos. A figura 15.37 [35] apresenta alguns fitoquímicos.

Figura 15.37 – Fitoquímicos

São considerados fitoquímicos, segundo o site UOL [35], substancias naturais encontradas em legumes e verduras, mas que não se enquadram em outras classificações como, por exemplo, vitaminas, proteínas, carboidratos, gorduras ou minerais. São substancias capazes de proteger o ser humano de doenças como o câncer e problemas cardíacos. A figura 15.38 [2], adaptada da fonte, mostra as principais linhas de pesquisa da fitoquímica.

Figura 15.38 – Principais linhas de pesquisa fitoquímica



15.5.6.1 Fitoterápicos

São medicamentos elaborados a partir de plantas medicinais e que possuem algum poder de cura associado. Segundo dados do CGEE [2], 80% da população mundial utiliza plantas medicinais como medicação básica e 25% remédios prescritos por médicos são derivados de plantas. O chá verde, por exemplo, é um fitoterápico comumente utilizado. Ele tem inúmeras ações como a antioxidante, anti-inflamatória, atua na redução e absorção de gorduras, aumenta a termogênese, dentre outros benefícios. A figura 15.39 [37] mostra o chá verde, comumente utilizado no Brasil.

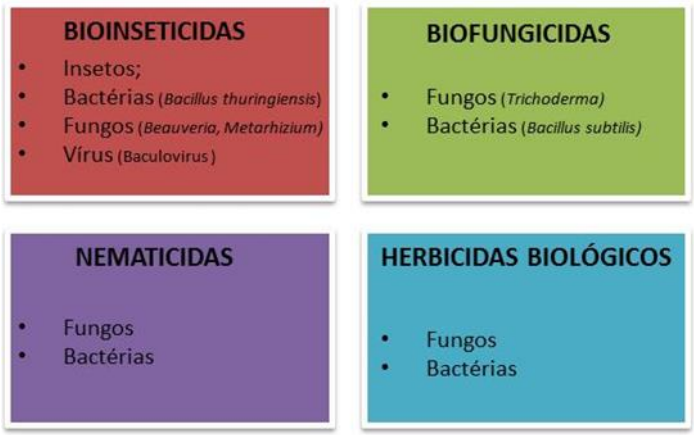
Figura 15.39 – Chá verde

15.5.6.2 Biopesticidas

Tem como finalidade prevenir a ação, controlar e/ou eliminar as pragas indesejáveis à agricultura e a pecuária, de forma natural e pouco danosa ao meio ambiente. As principais vantagens associadas ao uso de biopesticidas residem no fato de evitarem perdas na colheita, ajudarem a planta no seu desenvolvimento e ser, ao mesmo tempo, economicamente rentável e ambientalmente correto.

Os biopesticidas são divididos em quatro grupos: bioinseticidas, biofungicidas, nematicidas e herbicidas biológicos. A figura 15.40 [38], adaptada da fonte, mostra os quatro grupos em que se dividem os biopesticidas.

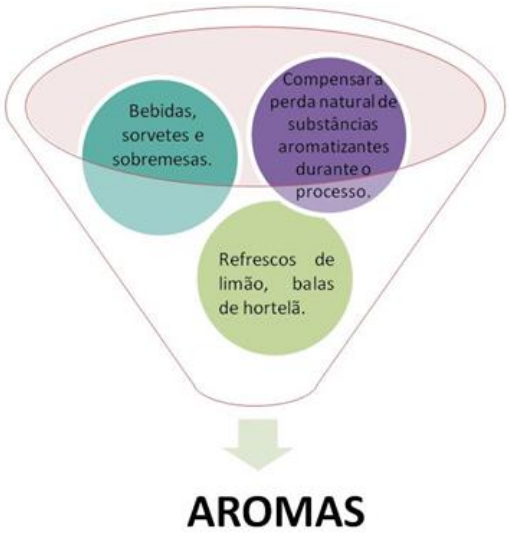
Figura 15.40 – Classes de Biopesticidas



15.5.6.3 Aromas e Fragrâncias

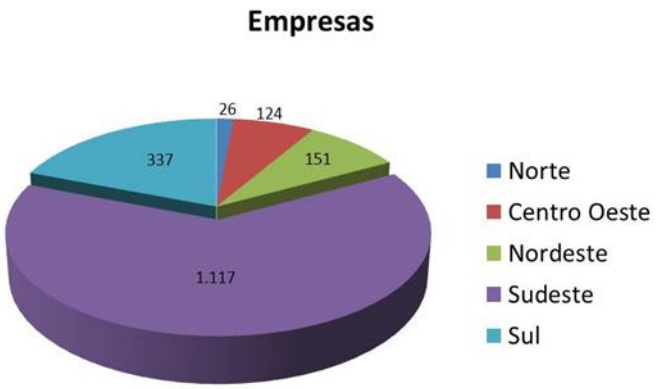
Constituem-se o terceiro ramo da fitoquímica os aromas e fragrâncias. Os aromas são utilizados para dar sabor e as fragrâncias intensificam o cheiro de determinado produto. A figura 15.41 [2], adaptada da fonte, mostra a aplicabilidade dos aromas.

Figura 15.41 – Aplicabilidade dos aromas



Já as fragrâncias são aplicáveis nas indústrias de perfumes, cosméticos, produtos sanitários, dentre outros. Existem no Brasil, segundo dados do CGEE [2], 1.755 empresas atuando no mercado de produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, dessas 14 são de grande porte e tem faturamento líquido de impostos acima de 100 milhões. A figura 15.42 [2], adaptada da fonte, mostra a distribuição destas empresas por região do Brasil.

Figura 15.42 – Distribuição de empresas brasileiras por região



15.5.6.4 Panorama Mundial E Nacional Da Fitoquímica

Tomando como base os bancos de dados anteriormente relacionados, foram detectadas 32.960 publicações científicas relacionadas ao tema, sendo 6.768 nos Estados Unidos; 2.464 na China e 2.179 na Índia. Já com relação às patentes foram identificadas 18.503.

O Brasil produziu 2.122 artigos, divididos em quatro áreas de atuação, conforme mostra a figura 15.43 [2], adaptada da fonte.

Figura 15.43 – Publicações Científicas sobre fitoquímica

15.5.6.5 BIOPRODUTOS, BIOCOMBUSTÍVEIS E BIOPROCESSOS

Com a crescente necessidade de preservação ambiental, a biologia, definida como sendo a ciência que estuda a vida, passou a integrar diversos setores da indústria, cada vez mais preocupada com processos e produtos sustentáveis.

Neste contexto, surgem as "plataformas bio" alicerçadas pelos biocombustíveis, bioprocessos e bioprodutos, cada qual com sua particularidade, mas como um ponto em comum: a substituição de processos arcaicos por outros ligados á preservação do meio ambiente. Essas tecnologias ganharam tanto espaço, que as Universidades vêm investindo em cursos de graduação e pós-graduação voltados para a biotecnologia, bioprocessos, bioquímica, bioenergia e muitos outros.

- Bioprocessos: Processamento de biomateriais a partir de agentes como enzimas, bactérias e leveduras. O desenvolvimento de tais processos exige conhecimentos não só de biologia, mas também de Engenharia Química a fim aproximá-los do meio industrial (DEQUI – UFRGS) [39];

- Biocombustíveis: São derivados de biomassa renovável e podem substituir os combustíveis derivados do petróleo. Podem ser produzidos a partir da cana-de-açúcar, amplamente utilizada para produzir etanol, e por meio de óleos vegetais e gorduras animais, como no caso do biodiesel.

- Bioprodutos: São os produtos derivados da bioindústria. Podem ser de origem animal, vegetal ou de micro-organismos. Exemplos de bioprodutos são os biosurfactantes, microbiológicos e biodegradáveis, que auxiliam na recuperação e remediação de solos impactados por óleo. Vitaminas para peixes de água doce e salgada, muito utilizadas na aquicultura de maneira geral, aromatizantes, corantes naturais, conservantes, dentre outros (Lei do Congresso Nacional, 2003) [40].

15.5.7 Energias Renováveis

A crescente demanda por energia, aliada ao possível esgotamento das fontes de combustíveis fósseis, como o petróleo, mostrou a necessidade de diversificação da matriz energética. Neste contexto, surgiram às energias renováveis, provenientes de fontes como o sol, o vento, as marés, o hidrogênio, a água, a biomassa, do calor proveniente do interior da Terra e de fontes vegetais e animais.

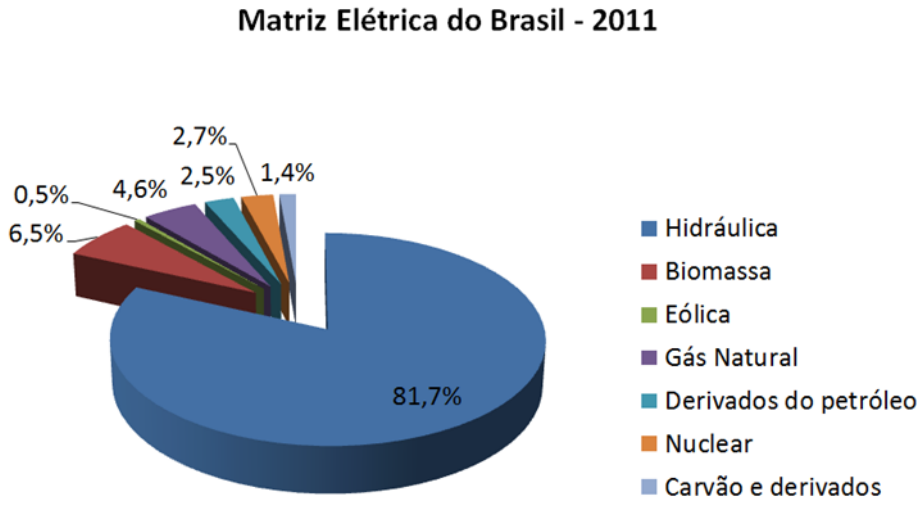
Fatores como a preocupação com o aquecimento global, a busca pela segurança energética, a volatilidade dos preços do petróleo e ao baixo impacto ao meio ambiente na sua construção e operação, impulsionam, segundo a CGEE [2], a utilização de energias renováveis. A figura 15.44 [41] apresenta algumas das fontes renováveis de energia disponíveis no Planeta.

Figura 15.44 – Fontes renováveis de energia

15.5.8 Panorama Mundial e Nacional das Energias Renováveis

O Brasil é o país que possui a matriz energética mais limpa do mundo industrializado. Segundo informações do Governo brasileiro [27], as fontes renováveis no Brasil atingem 45% da matriz energética do país, representando menos de 13% no mundo e 8% em países ricos. A figura 15.45 [42] mostra a participação de fontes renováveis de energia no Brasil.

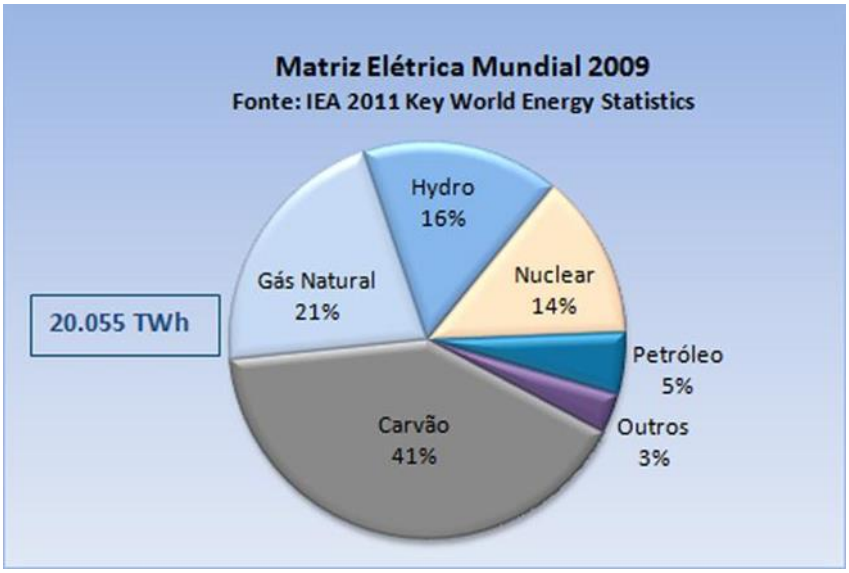
Figura 15.45 – Matriz elétrica do Brasil



Além disso, o Brasil conta com mais de 86% de fontes renováveis (80% de hidráulica e 6% de biomassa e eólica). No mundo, a participação média da energia hidráulica atinge 16%, segundo dados do Governo [27].

Quando comparadas as emissões de dióxido de carbono, o Brasil emite quase a metade de CO_2 por tonelada equivalente de petróleo (tep). Enquanto o país emite 1,4 toneladas de CO_2/tep, o mundo registra 2,4. Em países que possuem a matriz energética alicerçada por fontes fósseis este número chega a 3 tCO_2/tep. A figura 15.46 [43] mostra a matriz elétrica mundial.

Figura 15.46 – Matriz Elétrica Mundial (2009)



A partir dos dados obtidos nas duas bases de dados já relacionadas foram identificadas 68.429 publicações científicas e 67.514 patentes. Os Estados Unidos lideram o *ranking* das publicações com 18.564, seguido da China, com 6.456.

O Brasil ocupa a 19ª colocação, em 172 países, com 1.207 artigos. Os números brasileiros apontam a Universidade de São Paulo, a Universidade Estadual de Campinas e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, como líderes em publicações, com respectivamente, 275, 112 e 102.

15.6 Conclusão

A química verde surgiu alicerçada no desenvolvimento sustentável, ou seja, na interligação entre três pilares fundamentais: a economia, a sociedade e o meio ambiente. A valorização das empresas verdes, focadas em processos ecologicamente corretos, vem atraindo grande número de investimentos para o setor, que vem crescendo a cada dia. Prova disso, é a vasta aplicabilidade dos princípios e processos relacionados ao assunto, que vão desde a indústria química até a farmacêutica, sempre com o objetivo de substituir processos e tecnologias convencionais por outras mais eficientes.

Com a crescente e contínua preocupação com o meio ambiente conclui-se que a química verde, empregada em alguns processos industriais, será amplamente difundida nos próximos anos, na medida em que será necessário substituir os derivados de petróleo, por outros mais limpos, a fim de se adequar aos novos rumos da economia, focada em processos verdes.

2012

Capítulo 16: Resíduos animais, agrícolas e RSU[16]

16.1 Introdução

Os resíduos sólidos domésticos, comerciais, industriais e das operações agrícolas apresentam cada vez mais papéis, plásticos, vidros, um sem número de tipos de embalagens. Todo este material cria crescentes problemas de coleta, despejo e tratamento. Seus depósitos constituem-se muitas vezes em foco de crescimento de mosquitos e roedores, e podem até reduzir o valor dos terrenos sobre os quais se acumulam. Todo esse material contribui enormemente para a deterioração do ambiente humano [1].

Os resíduos gerados por aglomerações urbanas e, também, por processos produtivos constituem um grande problema, tanto pela quantidade quanto pela toxicidade de tais rejeitos. A solução para tal questão não depende apenas de atitudes governamentais ou decisões de empresas; deve ser fruto também do empenho de cada cidadão, que tem o poder de recusar produtos potencialmente impactantes, participar de organizações não-governamentais ou simplesmente segregar resíduos dentro de casa, facilitando assim os processos de reciclagem. O conhecimento da questão do lixo é a única maneira de se iniciar um ciclo de decisões e atitudes que possam resultar em uma efetiva melhoria de qualidade ambiental e de vida [1].

O manejo inadequado de resíduos sólidos de qualquer origem gera desperdícios, constitui ameaça constante à saúde pública e agrava a degradação ambiental, comprometendo a qualidade de vida das populações, especialmente nos centros urbanos de médio e grande porte. A situação evidencia a urgência em se adotar um sistema de conscientização educacional adequado para o manejo dos resíduos, definindo uma política para a gestão e o gerenciamento, a qual assegure a melhoria continuada do nível de qualidade de vida, promovendo ações práticas recomendadas para a saúde pública e protegendo o meio ambiente [1].

Por outro lado, o descarte inadequado de resíduos sólidos nos centro urbanos, sem qualquer tratamento, está contaminando os lençóis freáticos de várias regiões brasileiras. Essa situação é ainda pior ao se considerar que a água potável vai se tornar, em breve, um fator de grande competitividade entre as nações, pois está transformando-se em recurso cada vez mais escasso [1].

A compreensão da problemática do lixo e a busca de sua resolução pressupõem mais do que a adoção de tecnologias. Uma ação na origem do problema exige reflexão não sobre o lixo em si, no aspecto material, mas quanto ao seu significado simbólico, seu papel e sua contextualização cultural, e também sobre as relações históricas estabelecidas pela sociedade com os seus rejeitos [1].

As mudanças ainda são lentas na diminuição do potencial poluidor do parque industrial brasileiro, principalmente no tocante às indústrias mais antigas, que continuam contribuindo com a maior parcela da carga poluidora gerada e elevado risco de acidentes ambientais, sendo, portanto, necessários altos investimentos de controle ambiental e custos de despoluição para controlar a emissão de poluentes, o lançamento de efluentes e o depósito irregular de resíduos perigosos [1].

16.2 Resíduos animais

Os resíduos animais, principalmente da indústria leiteira e particularmente da suinocultura, são usados para geração de biogás através da captação do metano em biodigestores, evitando o lançamento de gases poluentes na atmosfera. Esse biogás pode ser usado como combustível na geração de eletricidade utilizando motores diesel. O gerador é conectado à rede elétrica para venda do excedente da geração e o empreendimento também gera receita com a comercialização do adubo produzido pelo digestor. Sistemas desse tipo são uma evolução dos biodigestores utilizados com baixo sucesso nos anos 70. Apesar de serem utilizados com sucesso na Europa, ainda não foram implementados no Brasil [2].

[16] Trabalho realizado pela estagiária Débora Fonseca da Silva, em 2012.

A coleta dos resíduos animais nos biodigestores deve evitar ao máximo o uso de recursos humanos e utilizar as etapas regulares do manejo animal para reunir os dejetos. A mistura deve escoar para um tanque de coleta onde os parâmetros da mistura são padronizados antes de entrar no biodigestor. Neste, a temperatura deve ser controlada através de serpentinas por onde escoa o calor de rejeito do motor. O gás produzido no biodigestor é limpo com a remoção de umidade e enxofre antes de ser aspirado no motor diesel. Motores do ciclo diesel devem ser utilizados preferencialmente devido a sua maior eficiência e robustez mas precisam ser desenvolvidos para produzirem energia elétrica de qualidade apesar da flutuação na composição dos gases do digestor [2].

Devido à flutuação na composição da mistura dos gases que afetam no funcionamento do motor, óleo diesel deve ser adicionado ao gás em proporções variáveis dependendo da composição do biogás. Como no caso de motores operando com gaseificadores, o desenvolvimento do grupo-gerador é um desafio em si só. Ele não deve ser um motor originalmente diesel e então adaptado, mas sim um motor otimizado para consumir gás, com sistemas de controle do combustível adequado de maneira a maximizar a eficiência do sistema como um todo. Os calores de rejeito, tanto dos gases de exaustão quanto do sistema de refrigeração devem ser utilizados tanto no controle do processo do biodigestor quanto na planta de beneficiamento da produção de adubo [2].

A utilização de turbinas a gás de micro e pequeno porte são desejáveis em sistemas com maiores produções de biogás. Essas turbinas reduzem o custo de operação e manutenção e podem operar continuamente por longos períodos. Seu calor de rejeito, a mais alta temperatura que no caso dos motores diesel, também podem ser utilizado no processo industrial e o espaço físico necessário para a casa de máquina é menor. O Brasil não fabrica essas turbinas, o que faz com que o investimento inicial desses equipamentos seja muito alto [2].

Também é necessário ajustar a legislação para facilitar ou incentivar a venda de eletricidade para os consumidores, uma vez que essa venda é fundamental para obter o equilíbrio econômico financeiro do empreendimento [2].

16.3 Resíduos agrícolas

Os resíduos do beneficiamento industrial da produção agrícola são tradicionalmente queimados a céu aberto, lançando na atmosfera poluentes e gases de efeito estufa. São exemplos desse tipo de operação a palha da cana-de-açúcar, casca de arroz, resíduo de serraria, resíduo de manejo florestal, entre outros [2].

O desafio nessa questão de resíduos agrícolas é tanto tecnológico quanto de modelos de gestão que permitam a coleta dos resíduos em volumes suficientes para justificar uma planta de geração de eletricidade vendendo energia para a rede a valores competitivos para a concessionária e que viabilizem economicamente o empreendimento. Busca-se equipamentos agrícolas que possam coletar os resíduos no campo a baixo custo, veículos energeticamente eficientes que possam transportar os materiais por distâncias maiores, com pouco ou nenhum lançamento de poluentes, e processos de transformação mais eficientes [2].

A queima direta para geração de energia é a tecnologia mais madura, mas as perspectivas indicam uma mudança para o uso da liquefação e da gaseificação da biomassa. O dificultador do uso da biomassa energética é o seu transporte até a planta de geração. Devido esta ser sólida, a densidade energética do transporte é pequena [2].

A produção a partir da biomassa de bio-óleo, gasolina e diesel são técnicas viáveis que precisam de investimento em plantas demonstrativas em escala pré-comercial para a introdução desta tecnologia no mercado [2].

A vantagem da gaseificação é pelo seu maior rendimento no ciclo energético. Enquanto uma planta com queima direta alcança eficiência em torno de 20%, a gaseificação permite o uso de turbinas a gás e motores diesel em ciclos de cogeração que possuem eficiências maiores. Esses motores de combustão interna podem também ter seus

calores residuais utilizados em processos industriais, plantas de cogeração, que elevam o rendimento térmico do sistema para valores acima de 80%. Para isso ser viável, é preciso o domínio dos processos de gaseificação no Brasil, bem como a produção de motores em ciclo diesel que eficientemente queimem o gás e a produção de turbinas a gás que possam operar com os gases da biomassa [2].

Porém, o processo de gaseificação da biomassa proporciona um grande inconveniente que é o fato dos seus gases possuírem um baixo poder calorífico, pois sua composição possui altos teores de CO e H_2O. O desenvolvimento de processos químicos que permitam a conversão desse gás de síntese para gás metano utilizando catalizadores promoveria uma ampliação nas opções de uso dos gaseificadores. Além de aumentar a densidade energética dos gases e permitir a utilização em motores convencionais, permitiria também a sua comercialização no mercado de gás natural, seja para fins de geração de eletricidade, calor, ou transporte [2].

16.4 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

O aproveitamento energético a partir dos resíduos sólidos urbanos (RSU) pode ser feito a partir de dois conjuntos de sistemas disponíveis que devem ser consorciados: a reciclagem e a transformação desses resíduos [2][3].

A reciclagem está relacionada ao reaproveitamento dos materiais com finalidades similares àquelas para as quais tinham sido originalmente produzidos, como exemplo os resíduos de papéis, plásticos, vidros e metais que podem ser usados como matéria-prima reciclável nas próprias indústrias que os fabricaram. Já a transformação se refere ao uso de resíduos para fins diferentes dos originais, como no caso da utilização da biomassa presente nos restos alimentares para produzir combustível ou adubo. Em ambos os casos há uma redução da quantidade de RSUs a ser depositada em aterros sanitários, o que contribui positivamente na ampliação de sua vida útil e soluciona a escassez de áreas para novos depósitos desses resíduos [3]. No quadro abaixo podem ser observadas algumas vantagens e desvantagens que esses tipos de processos detêm quanto aos RSUs.

Quadro 16.1 – Vantagens e desvantagens dos tipos de processamentos do RSU

Processos	Principais processos de aproveitamento econômico de RSU	
	VANTAGENS	**DESVANTAGENS**
Reciclagem	Aplicação do sistema de coleta seletiva para otimização da separação dos RSUs e diminuição do volume de resíduos	Desconhecimento do coeficiente térmico de reciclagem de cada material
	Fomento do desenvolvimento comunitário através da coleta seletiva	
	Transformação da biomassa presente nos restos alimentares em combustíveis	
	Aumento da oferta de energia elétrica pelo maior consumo de combustíveis	
	Redução de consumo de recursos naturais pelas indústrias	
	Otimização das áreas destinadas a depósitos de resíduos	
	Conservação de energia	
Transformação	Obtenção de produtos cuja competitividade possa ser alcançada mesmo com custos de processamento mais elevados	Possui desafios tecnológicos em todas as quatro principais opções de geração de eletricidade
	O custo das matérias-primas é negativo	
	Evita a demanda por áreas para destinação final, como aterros	
	Evita a proliferação de doenças causadas pelo lixo, assim como os custos de despoluição	

Fonte: CGEE [2]

No processo de transformação dos resíduos que existem consorciados, existem algumas opções de geração de eletricidade que exigem tecnologias aplicadas aprimoradas. Estas são o uso direto do gás produto dos RSU, a queima direta dos RSU, compostagem seca anaeróbia e pré-hidrolise ácida. A seguir serão citadas as principais necessidades de aprimoramento desses processos para incrementar a implantação de projetos de MDL [2].

A queima direta do gás de lixo (GDL) é realizada nos aterros sanitários onde acontece a decomposição da matéria orgânica presente nos RSUs de maneira anaeróbica, gerando biogás que contém um conteúdo significativo de metano. Esse gás rico em metano pode ser utilizado diretamente em processos de combustão ou misturado com o gás natural. O gás de RSU também pode vir a ser utilizado no processo de cogeração para aumentar a eficiência do mesmo [2].

Outra alternativa para a geração de eletricidade com gás de RSU é a utilização de células a combustível, geralmente utilizando a membrana PEM para potências de até 10 kW em situação pré-comercial. Porém existem desafios neste tipo de utilização quanto ao aumento da potência máxima fabricável no Brasil e a redução dos seus custos, além da necessidade de desenvolver um reformador para transformar metano em dióxido de carbono e hidrogênio, sendo este último que alimentará a célula a combustível e irá gerar eletricidade [2].

Já a queima direta do RSU é realizada em fornalhas com combustão em ambiente controlado, o que aumenta a eficiência da queima completa. Essa mesma tecnologia pode ser utilizada para processar os RSUs, gerando calor para vaporizar a água e injetar o vapor numa turbina [2].

Quanto à compostagem seca anaeróbia, a coleta seletiva dos resíduos orgânicos urbanos com posterior decomposição em biodigestores industriais na ausência de oxigênio evita a existência de aterros sanitários. Quando o resíduo orgânico é separado do inorgânico, o primeiro pode ser processado em plantas industriais que promovem a decomposição da biomassa em gás metano e adubo. Esse gás é utilizado como combustível em motores de combustão interna gerando eletricidade, podendo ser vendida para as concessionárias de energia, ou ainda a possibilidade desse biogás ser adicionado a rede urbana de gás natural. Já o adubo pode ser usado nas atividades de jardinagem no meio urbano ou nas atividades de hortaliças nos arredores dos grandes centros urbanos [2].

A pré-hidrólise ácida (BEM) tem como objetivo desenvolver as tecnologias dos materiais lignocelulósicos, como por exemplo a madeira, bagaço de cana, capim, resíduos agrícolas, parte orgânica do lixo, entre outros, assim como a digestão material (monazita, zirconita, etc). Neste programa, as biomassas são transformadas em produtos como a celulignina, utilizada como combustível, ração animal e madeira sintética, e o pré-hidrolisado (solução de açúcares), usado em produtos químicos que apresentam valor de mercado, como o furfural, álcool, xilitol [2].

Esta tecnologia consiste na biomassa presente nos resíduos sólidos sendo picada e compactada no silo, e posteriormente comprimida por uma rosca helicoidal dentro de um reator piloto. Os dois produtos fundamentais desta reação são a celulignina, a parte hidrolisada sólida, e uma solução de açúcares que foi digerida no processo, sendo esta a parte líquida hidrolisada [2].

A partir do quadro abaixo, notam-se os desafios que cada um desses processos de transformação precisa superar para tornar viável a utilização dos mesmos.

Quadro 16.2 – Desafios oferecidos pelos tipos de processamentos do RSU

Processo de Transformação dos Resíduos Sólidos Urbanos - RSU	Desafios
Uso direto do gás produto dos RSU	Controlar o poder calorífico do gás para aumentar sua eficiência.
Queima direta dos RSU	Como evitar que os gases residuais do processo de combustão não corroam os equipamentos e poluam a vizinhança da planta de geração; Desenvolvimento de uma caldeira que seja capaz de queimar o material orgânico do RSU sem lançar dioxinas e furanos na atmosfera.
Compostagem seca anaeróbia	Fazer a separação do resíduo orgânico e do resíduo inorgânico na coleta seletiva, para posterior processo em plantas industriais que promovem a decomposição da biomassa em gás metano e adubo.
Pré-hidrólise ácida	Desenvolver as tecnologias dos materiais lignocelulósicos e de digestão material.

Fonte: CGEE [2]

Capítulo 17: *Green Building*[17]

17.1 Sumário executivo

O *Green Building* é um termo utilizado para referenciar os empreendimentos que visam obter uma certificação de construção sustentável atendendo a alguns critérios que caracterizam esse tipo de construção. Alguns deles são: o espaço sustentável; a eficiência do uso da água, energia e da atmosfera; os materiais e recursos; a qualidade ambiental interna, entre outros.

O assunto sobre as construções sustentáveis é um objeto de pesquisa e desenvolvimento que vários países apresentaram modos de especificações e padronização para garantir a otimização nas construções.

Existem atualmente vários órgãos de avaliação de sustentabilidade e certificação no mundo, como por exemplo o BREEAM, LEED, CASBEE, Démarche HQE, entre outros, e alguns adotados pela construção brasileira, a AQUA, o selo Casa Azul, e o Procel Edifica.

Para obtenção dessas certificações, existem pré-requisitos a serem atendidos pelo projeto para que o mesmo tenha direito a acumulação de pontos para a certificação. A pontuação varia de acordo com a categoria a ser atendida (válido para a maioria dos órgãos certificadores), e a partir de um número mínimo de pontos a construção poderá ser certificada. Caso não sejam atendidos, o projeto não poderá ser certificado.

O projeto sustentável, por ser interdisciplinar e ter premissas mais abrangentes, garante maior cuidado com as soluções propostas, tanto do ponto do vista ambiental quanto dos aspectos sociais, culturais e econômicos. O resultado final dessa nova arquitetura ecológica, verde e sustentável, proporciona grande vantagem para seus consumidores.

No presente trabalho serão apresentados a definição de *Green Building*, os órgãos de certificação, com ênfase naqueles brasileiros, o custo das certificações e do empreendimento sustentável, além de outros aspectos que abrangem os benefícios desse novo tipo de construção até as entraves que limitam o crescimento da construção sustentável, disponível em anexo.

17.2 Introdução

Os desastres ambientais que começam a perturbar e prejudicar drasticamente todo o mundo e que algumas nações, instituições e pessoas apontam como o caminho para o fim do mundo que conhecemos, tomam como ponto de partida estudos para responderem algumas perguntas sobre o que pode ser feito para minimizar ou talvez reverter este tipo de situação. A todo momento as seguintes perguntas são realizadas quanto a essa questão:

- O que eu vou fazer quando acabar a luz?
- Será que minha casa será inundada ano que vem?
- No verão a minha casa ficará tão quente que não conseguirei permanecer dentro dela?
- Quanto tempo conseguirá ficar fechado dentro de um prédio sem ar condicionado?
- Para onde vamos?
- Será que vamos sobreviver?

[17] Trabalho realizado pela estagiária Débora Fonseca da Silva, em 2012.

Tais perguntas são citadas no livro de ROAF. S[1], e podem ser descritas como alguns dos problemas relacionados como essas mudanças drásticas no clima do planeta.

Pensando assim, vários governos começaram a adaptar seus projetos para que seja uma forma menos agressiva ao meio ambiente e visando a melhoria dos níveis de eficiência energética. Para um resultado com maior intensidade, começaram a espalhar essa idéia através dos seus meios de comunicação a fim de mudar a idéia sobre os modos de vida da população. Métodos como a reciclagem, a utilização de fontes de energias renováveis e a criação e adaptação de combustíveis não poluentes são alguns dos meios utilizados.

Outra forma de melhorar a qualidade de vida são as construções verdes (Green Buildings). Quando as pessoas começam a se preocupar com o bem estar familiar ou apenas amenizar os custos crescentes de energia preservando seu conforto diário com uma baixa manutenção, a construção verde pode vir a surpreender as expectativas dos mais otimistas.

O termo *GREEN BUILDING* é utilizado para descrever projetos que se encaixam nas seguintes características:

- Eficiência energética e cuidados com as emissões atmosféricas;
- Sistema de uso racional da água;
- Sustentabilidade da localização;
- Qualidade dos ambientes internos das edificações;
- Otimização dos materiais e recursos naturais a serem utilizados na construção e operação;
- Inovações empregadas no projeto da edificação;
- Créditos regionais.

Essas características não apenas servem para descrever o termo citado acima, mas também devem ser seguidas para que as edificações consigam obter o certificado de *Green Building.*

17.3 Sustentabilidade

Sustentabilidade foi descrita depois da primeira Conferência Internacional das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, realizada em 1972 em Estocolmo. Este conceito tem como referência a manutenção do equilíbrio entre a capacidade do ambiente e as demandas por igualdades, prosperidades e qualidade de vida da população humana [2].

O desenvolvimento sustentável é referido ao modo de desenvolvimento que objetiva alcançar a sustentabilidade atendendo às necessidades atuais dessa geração e expressar o seu maior potencial no presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de auto atenderem suas necessidades. Dessa forma, a preservação da biodiversidade e dos ecossistemas naturais é uma meta de planejamento a ser atingida de forma eficiente pela sociedade humana, relacionando sempre conceitos com aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais.

Assim, a sustentabilidade possibilita a manutenção e uso desses recursos naturais de forma inteligente, garantindo uma boa qualidade de vida para as futuras gerações.

Os projetos de construções sustentáveis são apontados como uma sugestiva opção para projetos que almejam a construção de forma ambientalmente correta e visa a melhoria dos níveis de eficiência energética.

17.4 A Construção Sustentável

Segundo o Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção (CIB), a construção sustentável é "um processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes natural e construído e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica." [2]

De acordo com o conceito acima, a construção civil, que responde a um grande percentual do consumo mundial de energia e de água utilizada no mundo (cerca de 40% de todos os recursos naturais disponíveis no planeta), propõe soluções aos principais problemas ambientais atuais relacionados ao seu desenvolvimento sem renunciar ao conforto e às tecnologias modernas tão disponíveis atualmente, buscando a criação de edificações que atendam as necessidades dos usuários.

No cenário atual, o primeiro passo que vem sendo tomado pelas empresas do setor produtivo é a implantação ideal das bases para um desenvolvimento sustentável. Uma dessas pré-condições para uma boa base é ter um projeto de sustentabilidade de qualidade, onde estas garantam que níveis de excelência sejam atingidos, mantidos e disseminados nos processos.

Há nove passos principais para se chegar a uma construção sustentável que reproduza as características originais do meio ambiente natural. [3] São eles:

- Planejamento sustentável da obra;
- Aproveitamento passivo dos recursos naturais;
- Gestão do uso da energia e economia da água;
- Gestão dos resíduos na edificação;
- Qualidade do ar e do ambiente interno;
- Conforto termo-acústico;
- Sustentabilidade da localização;
- Uso racional de materiais e recursos naturais a serem utilizados na construção e operação;
- Eficiência energética e cuidados com as emissões atmosféricas;
- Uso de produtos e tecnologias ambientalmente amigáveis.

A procura contínua pela busca de melhores idéias sobre sustentabilidade no projeto provoca uma melhoria inconsciente nos aspectos ligados ao consumo de recursos naturais, produtividade, desperdício, durabilidade, etc. Outro fator que se deve levar em conta é que sustentabilidade não combina com informalidade, porque é indispensável selecionar todos os fornecedores para que seu projeto seja formal, evitando um ciclo nocivo onde as empresas que trabalham com fornecedores informais também se tornem informais.

A legitimação da empresa e a seleção de fornecedores formais estimula o aumento da profissionalização na cadeia produtiva e consequentemente a eliminação de empresas com baixa produtividade que só se mantém no mercado por economia advinda de atividades lícitas.

Por último, para se ter uma base assegurada e uma busca constante pela inovação, a utilização das novas tecnologias, quando possível e adequado, sempre buscando soluções criativas porém respeitando o contexto. As empresas sempre devem ter relações próximas com agentes promotores de inovações na área de produção, tanto na área de novos materiais e equipamentos, quanto na capacitação da mão-de-obra [2].

17.5 Ciclo de Vida em um Empreendimento

Atualmente, a maior parte dos sistemas ainda não considera diversos aspectos sociais relevantes na indústria da construção nacional ao avaliar a sustentabilidade de um empreendimento, entre eles a qualidade de vida no canteiro de obras, treinamento e contratação de mão-de-obra formal e conformidade com normas técnicas. Entretanto, esses são aspectos que devem ser levados em conta e trabalhados na busca da melhor qualidade no ambiente de trabalho e seu entorno, e a avaliação realista do desempenho dos empreendimentos em relação à sustentabilidade [2].

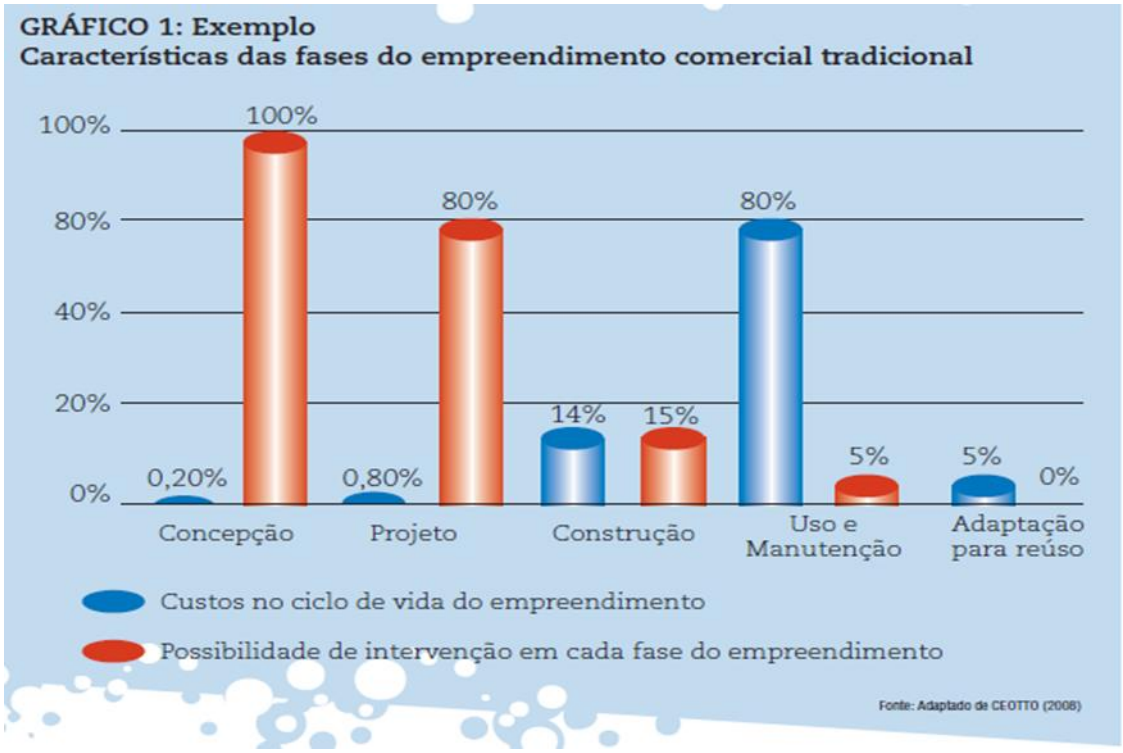
Ciclo de vida das edificações é um conceito que trata de todas as etapas ligadas a um produto, desde a extração de suas matérias-primas até sua disposição final. Este é dividido em cinco fases principais dispostas a seguir:

- Concepção;
- Planejamento/Projeto;
- Construção/Implantação;
- Uso/Ocupação;
- Requalificação/Desconstrução/Demolição.

A fase de concepção abrange todos os estudos preliminares que incluem os estudos de viabilidade econômica, legislações, condições naturais e entorno, e a fase de planejamento do projeto envolve todas as atividades entre o pré-projeto e o início da construção do empreendimento.

De acordo com o Gráfico 17.1, nota-se que os custos no ciclo de vida de um empreendimento comercial tradicional variam em ordem crescente, inversamente proporcionais ao crescimento das possibilidades de intervenção no mesmo. Apesar da presença de todos os aspectos de sustentabilidade em cada fase do ciclo de vida do empreendimento, as ações a serem realizadas em cada uma delas e seu impacto potencial para a sua sustentabilidade variam significativamente [2].

Gráfico 17.1 – Características das fases do empreendimento comercial tradicional [2]



Observa-se que, nas fases de concepção e planejamento do projeto, as possibilidades de intervenção são maiores, podendo ser focadas na sustentabilidade. Já os custos nessas primeiras fases são os menores de acordo com todas as fases do empreendimento.

Na fase de construção do empreendimento há uma minimização das possibilidades de intervenção no projeto visto que nele já deveriam ter sido considerados a implantação dos aspectos que envolvem a sustentabilidade e a redução nos impactos negativos sociais e ambientais em todo o ciclo de vida das edificações. Os custos a partir dessa fase tendem a aumentar progressivamente, principalmente no uso e manutenção do empreendimento, fase esta que o mesmo já deve estar concluído e em constante ocupação e utilização pelos usuários.

Na última fase do gráfico acima nota-se a impossibilidade de intervenção existente nos empreendimentos tradicionais devido ao projeto concluído. Esta se deve por fatores técnicos e econômicos agregados a um empreendimento finalizado, pois para adequar um projeto concluído a uma nova proposta, no caso um empreendimento sustentável, seria necessário o descarte do projeto seguido de uma intervenção custosa e demorada, por isto tal investimento apresenta 0% de possibilidade, segundo o gráfico.

Porém, o processo de reabilitação de edifícios para torná-los sustentáveis pode ser feito, mas é mais complexo do que uma construção nova já sustentável projetada desde o início na concepção da construção. Essa possibilidade será citada posteriormente ao longo do relatório.

17.6 Benefícios da Construção Verde

A indústria da construção civil é o setor que mais consome energia e água na atualidade, além de gerar uma grande quantidade de resíduos nas fases de implementação do protejo também. Levando em consideração essas observações, tornam-se necessárias mudanças na lógica atual adotada neste setor.

Um empreendimento sustentável traz uma série de benefícios que visam minimizar os impactos causados e a redução de custos durante todo o ciclo de vida das edificações, tanto sociais, ambientais e econômicos, além de outros. Considerando o aspecto social, a geração de emprego e renda na economia local gera benefícios através dos impostos pagos e promove a integração dos ocupantes do empreendimento sustentável com sua vizinhança e uma adequação arquitetônica com seu entorno [2].

Observa-se também que esse tipo de empreendimento pode ser concebido e planejado para que suprimam menores áreas de vegetação, otimizem o uso de materiais, gerem menos emissões de resíduos durante sua fase de construção, demandando assim menos energia e água durante a fase de operação.

Os edifícios sustentáveis são projetados para que tenham durabilidade, flexibilidade e sejam passíveis de requalificação para que possam ser reaproveitados e reciclados de forma ampla no fim do seu ciclo de vida. Tais ganhos ambientais são refletidos em ganhos econômicos posteriormente, com a redução de custos de construção, uso e operação e manutenção das edificações [2].

Nos aspectos econômicos, há um aumento da eficiência no uso de recursos financeiros na construção, a oferta de um retorno financeiro aos empreendedores e acionistas, indução de aumento da produtividade de trabalhadores por se encontrarem em um ambiente saudável sem abrir mão do conforto.

Deve-se ressaltar que projetos que incluem a variável sustentabilidade têm o potencial de venda maior e podem ser mais valorizados pelo mercado.

A ecocultura é objetivada pela recomendação da literatura que contribua para formar consciência aos seres humanos capazes de tornarem-se agentes de promoção e preservação da vida, da cultura e do meio ambiente, procurando obter uma visão futurista da responsabilidade de utilizar os recursos disponíveis em prol do desenvolvimento sustentável, almejando sempre contribuir com as próximas gerações.

17.7 Órgãos de Regulamentação

Edificação pode ser traduzida de uma forma grosseira como uma mistura de diversos de materiais e componentes que demandam ainda de uma grande quantidade de materiais na construção e de mão-de-obra. A busca pela sustentabilidade nesse meio tem como objetivo amenizar o máximo possível os impactos negativos sociais e ambientais de todo o ciclo de vida do empreendimento.

A questão ambiental vem sendo discutida em todo o mundo, e a adequação a esta demanda pela arquitetura tornou-se necessária.

O assunto sobre as construções sustentáveis é um objeto de pesquisa e desenvolvimento por diversos países, que criaram modos de especificações e padronização para garantir a otimização das construções. Dentre esses órgãos, podem ser apresentadas como as principais organizações de avaliação de sustentabilidade e certificação, juntamente com o respectivo país o qual pertence, o BREEAM (Reino Unido), CASBEE (Japão), GBTool (Internacional), LEED (EUA). Todas estas organizações levam em consideração como principais fatores os itens citados nos próximos itens (A Construção Sustentável).

Algumas outras certificações que abordam aspectos distintos e utilizam caracteres diferentes de avaliação tem como referência a francesa “Démarche HQE”, que possui um processo pioneiro onde é avaliado não apenas o desempenho potencial do empreendimento implantado, mas também as escolhas feitas nas fases de concepção, planejamento e implantação/construção.

Todos esses sistemas foram desenvolvidos para serem facilmente absorvidos por projetistas e pelo mercado em geral, e têm, portanto, uma estrutura mais simples, normalmente formatada como uma lista de verificação. Para divulgar o reconhecimento do mercado pelos esforços dispensados para melhorar a qualidade ambiental de projetos, execução e gestão operacional, todos eles são vinculados a algum tipo de certificação de desempenho. [4]

As formas de avaliação tem como aplicação o sistema de gestão do empreendimento que se aplica no comprometimento com a Qualidade Ambiental do Edifício (QAE) visada, implantação e funcionamento, gestão do empreendimento, e aprendizagem. O QAE tem como função avaliar a gestão dos impactos sobre o meio ambiente externo e a salubridade e conforto do ambiente interno [4].

Já no Brasil, tenta-se o aprimoramento de alguns desses órgãos a fim de atender a realidade industrial e ambiental. O certificado LEED é o mais difundido no país, e tem sido adaptado pelo Green Building Concil Brasil (GBC Brasil) a fim de regularizar algumas particularidades da construção nacional.

A HQE e a Fundação Vanzolini buscam a realização de implementação da AQUA (Alta Qualidade Ambiental) para poder adaptar o sistema HQE ao mercado nacional. As adaptações destes sistemas de regulagem são feitos porque os originais não levam em consideração diversos aspectos sociais relevantes na indústria da construção nacional ao avaliar a sustentabilidade de um empreendimento, entre eles a qualidade de vida no canteiro de obra, treinamento da mão-de-obra, contratação da mão-de-obra formal e conformidade com normas técnicas.

Nos próximos itens serão abordados com mais afinco alguns sistemas de certificação de avaliação de sustentabilidade já citados anteriormente, enfatizando àqueles que atendem a certificação sustentável nacional.

17.8 BREEAM

O sistema BREEAM (*Building Research Establishment Enviromental Assessment Method*) é o mais conhecido método de certificação ambiental para edifícios, sendo precursor do sistema de certificação LEED. Criado em 1990 no Reino Unido por pesquisadores do BRE e do setor privado em parceria com a indústria, e visando especificações e mensuração de desempenho, foi o primeiro sistema a oferecer em selo ambiental para edifícios.

Esta é também a metodologia de maior aceitação internacional, sendo que outras versões deste sistema foram adaptadas às suas condições por outros países como o Canadá, Dinamarca, Austrália, EUA, entre outros [4].

Tal sistema fornece um processo de avaliação formal embasado em uma auditoria externa, onde um edifício é avaliado independentemente por avaliadores treinados e indicados pelo BRE que, por sua vez, é o responsável por especificar os critérios e métodos de avaliação e pela garantia da qualidade do processo de avaliação utilizado.

O principal objetivo da certificação BREEAM é contribuir no desenvolvimento do ambiente construído, avaliando e propondo soluções mais sustentáveis para diferentes programas de projetos, promovendo a transparência e o atendimento de conforto e necessidades atuais das pessoas e nas futuras gerações.

O BREEAM aborda amplas questões ambientais e de sustentabilidade, e permite que desenvolvedores, designers e gerentes de construção demostrem as credenciais ambientais de seus edifícios para os clientes, planejadores e outras partes interessadas. São elas:

- Um sistema de pontuação simples, que é transparente, flexível, fácil de entender;

- Constante atualização através da sua estreita relação com pesquisas acadêmicas e análises laboratoriais do ciclo de vida de materiais e sistemas;

- Possui uma influência positiva sobre a concepção, construção e gestão de edifícios;

- Define e mantém um padrão robusto de técnica com garantia de qualidade rigorosa e certificação.

O sistema é atualizado regularmente (a cada 3 ou 5 anos) para beneficiar-se de avanços em pesquisa, refletir a experiência acumulada e alterações nas prioridades de regulamentação e do mercado, e para garantir que continue representando práticas de excelência no momento da avaliação. A primeira revisão ocorreu no ano de 1993 [4].

O processo de avaliação utilizando o "BREEAM 98 *for offices*" é composto pelos blocos de critérios ilustrados na Figura 17.1. A versão 98 misturou os dois sistemas (edifícios de escritórios novos e existentes), podendo assim formar um conjunto de critérios básicos de desempenho do edifício onde é avaliado em todos os casos, e os blocos Projeto e Execução e Operação e Gestão são incluídos nos casos em que o objeto avaliado for, respectivamente, um edifício novo ou um edifício em uso.

Figura 17.1 – Blocos de critérios no processo de avaliação do BREEAM (edifícios de escritórios) [4]

Os critérios ambientais estão distribuídos em nove categorias de avaliação, dispostos na Tabela 17.1. Dentro de cada categoria, há requisitos pra a obtenção de créditos que refletem as opções disponíveis para projetistas e ges-

tores de edifícios. A quantidade de requisitos não interfere na importância relativa entre elas, que são apontadas por fatores de ponderação que passaram a ser atribuídos a cada categoria. O critério de ponderação utilizado tem base consensual e resulta de trabalho conduzido pelo BRE.

Tabela 17.1 – Estrutura de avaliação do BREEAM 98 [4]

Categorias (% total de pontos)	**Pontos (máx. 1062 pts.)**
Gestão (14,1%) **Aspectos globais de politica e procedimentos ambientais**	150 pts.
Saúde/Conforto (14,1%) **Ambiente interno e externo ao edifício**	150 pts.
Uso de energia (19,6%) **Energia operacional e emissão de CO2**	208 pts.
Transporte (11,3%) **Localização do edifício e emissão de CO2 relacionada a transporte**	120 pts.
Uso de água (4,5 %) **Consumo e vazamento**	48 pts.
Uso de materiais (9,8 %) **Implicações ambientais da seleção de materiais**	104 pts.
Uso do solo (3%) **Direcionamento de crescimento urbano (evitando *greenfields* e encorajando a recuperação de *brownfields* e uso de vazios urbanos)**	32 pts.
Ecologia local (9%) **Valor ecológico do sítio**	96 pts.
Poluição (14,5%)	154 pts.

De acordo com o índice de desenvolvimento ambiental (EPI) obtido, são atribuídos quatro níveis de certificação. A Tabela 17.2 mostra a classificação provável do edifício a partir do número de pontos obtidos em uma lista de verificação simplificada.

Tabela 17.2 – Esquema da obtenção do Índice de Desempenho Ambiental (EPI), utilizado pelo BREEAM [4]

Nível de classificação	**Projeto e execução**	**Gestão e Operação**
Aprovado	> 200 pts. (25%)	> 160 pts. (21,1%)
Bom	> 300 pts. (37,5%)	> 280 pts. (36,9)
Muito bom	> 380 pts. (47,5%)	> 400 pts. (52,8%)
Excelente	> 490 pts. (61,3%)	> 520 pts. (68,6%)

Os tipos de novas construções que podem ser avaliadas usando o BREEAM 2011 são mostrados na Tabela 17.3. Esse esquema é aplicável aos novos edifícios não residenciais no Reino Unido. [5]

Tabela 17.3 – Tipos de edifícios que podem ser avaliados usando o BREEAM 2011 [5]

Setor	Tipos de construção	Descrição
Comercial	Escritórios	➢ Edifícios de escritórios gerais ➢ Escritórios com áreas de pesquisa e desenvolvimento
	Industrial	➢ Unidade Industrial-armazenagem/distribuição ➢ Unidade industrial- processo de fabricação/ veículos de manutenção
	Varejo	➢ Lojas/ shoppings ➢ Varejo ➢ Sobre o balcão: prestadores de serviço, imobiliário, financeiro e de agência de emprego e agências de apostas ➢ Sala de exposição ➢ Estabelecimento café, restaurante e bares
Setor público (não habitado)	Educação	➢ Pré-escola ➢ Ensino fundamental ➢ Ensino médio ➢ Ensino superior e profissionalizante
	Saúde	➢ Ensino/especialista em hospitais ➢ UPA ➢ Comunidade e hospitais de saúde mental ➢ Clínicas
	Prisões	➢ Prisão de segurança máxima ➢ Prisão de segurança padrão ➢ Institutos do jovem infrator e prisões juvenis ➢ Centros de reabilitação ➢ Delegacias
	Tribunais	➢ Todos os tipos de prédios jurídicos
Conjunto de residências e alojamentos	Instituições residenciais	➢ Casas de repousos ➢ República universitária ➢ Casa de militares ➢ Quartel general ➢ Pousadas, hotéis, albergues ➢ Centros de concentração
	Instituição não residencial	➢ Galeria de arte, museus ➢ Biblioteca ➢ Igrejas, centros comunitários ➢ Locais de cultos
	Assembléia e lazer	➢ Cinema ➢ Teatro/ música / locais para concertos ➢ Exposição/ centros de conferências ➢ Academias/ centros esportivos em lugares fechados ou em locais abertos
	Outros	➢ Creches ➢ Metrôs, transportes ligados à rede ➢ Investigação e desenvolvimento (laboratórios de educação não superior)

Quando uma construção se mistura com uma ou mais descrições acima e possui construção padrão e não padrão no seu registro, vai ser descrito como não padrão.

O BRE EcoHomes é uma extensão do grupo BRE, que também foi o criador do BREEAM, e este tipo de certificado aplica-se a todos os empreendimentos residenciais padrão na Inglaterra, Escócia, País de Gales e Irlanda do Norte que constituam empreendimentos privados e habitação de interesse social, apartamentos e casa novas construções e grandes reformas. Sua estrutura está representada na Tabela 17.4 e segue as mesmas categorias do BREEAM *for Offices* na versão 2004.

Tabela 17.4 – Estrutura do BRE EcoHomes [4]

Categoria	**Título**	**Código**	**Critérios disponíveis**
Energia (20pts; 21,42%)	Emissão de CO_2	Ene1	10
	Envelope	Ene 2	5
	Espaço para secagem de roupas	Ene 3	1
	Eletrodomésticos certificados	Ene 4	2
	Iluminação externa	Ene 5	2
Transporte (8 pts.; 8,56%)	Transporte público	Trat 1	2
	Armazenamento de bicicletas	Trat 2	2
	Proximidade de amenidades locais	Trat 3	3
	Home Office	Trat 4	1
Poluição (6 pts.; 14,99%)	ODP e GWP dos isolantes utilizados	Pol 1	1
	Emissão de NOx	Pol 2	3
	Redução de escoamento superficial de água de chuva	Pol 3	2
	Fonte de energia com emissão zero	Pol 4	1
Materiais (31 pts.; 14,98%)	Uso de madeira: elemento básico	Mat 1	6
	Uso de madeira: elemento de acabamento	Mat 2	3
	Facilidade para reciclagem	Mat 3	6
	Impactos ambientais dos materiais	Mat 4	16
Água (6 pts.; 10%)	Uso de água internamente na UH	Wat 1	5
	Uso de água internamente à UH	Wat 2	1
Uso de solo e ecologia (9 pts.; 15,01%)	Valor ecológico do sitio	Eco 1	1
	Melhoria do valor ecológico do sitio	Eco 2	1
	Proteção de aspectos ecológicos	Eco 3	1
	Mudança do valor ecológico do sitio	Eco 4	4
	Pegada ecológica do edifício	Eco 5	2
Saúde e bem estar (8 pts.; 15,04%)	Iluminação natural	Hea 1	3
	Isolamento acústico	Hea 2	4
	Espaço privativo	Hea 3	1

De acordo com a tabela acima, percebe-se ainda que o foco principal é na categoria “energia”, com 21,5%, seguida por “saúde e bem-estar”, “uso do solo e ecologia”, “poluição” e “materiais”, com pesos praticamente idênticos de aproximadamente 15%, e finalmente a categoria de “uso da água”, com 10%.

Os principais diferenciais do BREEAM em relação às demais metodologias são: o rigor e profundidade de seus critérios, constantemente atualizados através da sua estreita relação com pesquisas acadêmicas e análise laboratorial do ciclo de vida de materiais e sistemas; e a sua adaptabilidade para ser aplicada em diferentes culturas, como calibragens regionais para refletir questões de diferenças ambientais que afetam outras partes do planeta [6].

17.9 LEED

O Green Building Council Brasil (GBCB), criado em março de 2007, é uma organização não governamental que surgiu para auxiliar no desenvolvimento da indústria da construção sustentável no país. Criado pelo USGBC em 1994, o Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) é um sistema de certificação e orientação ambiental de edificações e tem sido adaptado pelo GBCB a fim de regularizar algumas particularidades de construção nacional. É o selo de maior reconhecimento internacional e o mais utilizado em todo o mundo, inclusive no Brasil [7].

Para obter a certificação LEED, devem-se seguir os seguintes passos: [7]

1. Registro do projeto (no site www.usgbc.org);
2. Coleta de informações pelo time de projetos;
3. Cálculos e preparação de memoriais e plantas;
4. Envio da primeira fase (Projetos - ao GBC Americano);
5. Coleta e preparação de documentos da segunda fase;
6. Envio da segunda fase (Construção Final);
7. Treinamento para ocupação;
8. Pré-operação e pós entrega;
9. Análise para certificação.

Para se obter essa certificação, são avaliados o consumo de energia, o reaproveitamento de água, o uso de materiais sustentáveis, a qualidade do ar interno, o controle de destinação de resíduos, entre outros vários itens. Atualmente, são cerca de 8 tipos de LEED e 69 critérios que valem pontos. Esses critérios levam em consideração todo o ciclo de vida do empreendimento, desde a sua concepção, construção, operação e descarte de resíduos após sua vida útil.

Atualmente o GBC Brasil disponibiliza os seguintes tipos de LEED: [7]

- LEED NC – Novas construções e grandes projetos de renovação;
- LEED ND – Desenvolvimento de bairro (localidades);
- LEED CS – Projetos da envoltória e parte central do edifício;

- LEED *Retail* NC e CI – Lojas de varejo;
- LEED *Healthcare* – Unidades de saúde;
- LEED EB_OM – Operação de manutenção de edifícios existentes;
- LEED *Schools* – Escolas;
- LEED CI – Projetos de interiores e edifícios comerciais.

Além dos diferentes tipos e necessidades, a certificação também abrange diferentes níveis de acordo com o desempenho do empreendimento como *Silver*, *Gold* e *Platinum,* dispostos na Figura 17.2. [7]

Figura 17.2 – Selos segundo diferentes níveis de acordo com o desempenho [7]

Caso atinja no mínimo 40 pontos e atenda aos pré-requisitos da certificação, o prédio estará de acordo com as preocupações de sustentabilidade e recebe a certificação LEED básica. A partir de 50 pontos, recebe o certificado prata. Quando chega a 60, recebe o ouro. A partir de 80 pontos atinge-se a certificação máxima, que é de platina.

Quadro 17.1 – Pontuação de cada selo segundo desempenho; Adaptado de acordo com dados do site do GBC Brasil [7]

Certificado	40 – 49 créditos
Silver	50 – 59 créditos
Gold	60 – 79 créditos
Platinum	80+ créditos

Hoje, o Brasil é o quarto no *ranking* mundial de construções verdes com 46 prédios certificados e 506 em processo de certificação, segundo o Mapa 1 (dados atualizados em abril de 2012), atrás apenas dos Estados Unidos, Emirados Árabes Unidos e China.

Mapa 17.1 – Projetos registrados LEED por Estado no Brasil [7]

Total de metros quadrados construídos:	
Brasil	16.018.766,51m²
No Mundo	912.561.2553,01 m²

De acordo com mapa, constam no estado de Minas Gerais cerca 11 empreendimentos em registro e apenas 1 certificado. A Tabela 17.5 mostra alguns desses empreendimentos, bem como dados da empresa que realiza a consultoria do projeto, o proprietário e o arquiteto responsável, a cidade que o empreendimento está localizado, o tipo de Sistema dentro da certificação LEED que o projeto está sendo avaliado, entre outros. Nota-se que o único empreendimento certificado no estado encontra-se em destaque na tabela (WT Águas Claras), e em destaque também o Projeto do Estádio Mineirão para a Copa 2014, que será citado posteriormente.

Tabela 17.5 – Projetos de sistemas LEED em Minas Gerais; Adaptado de acordo com dados do site do GBC Brasil [7]

PROJETOS DE SISTEMAS DE LEED EM MINAS GERAIS									
CATEGORIAS	NOME DO PROJETO								
	Edifício Forluz	Concórdia Business Tower	Renaissance Work Center	Raja Business Center	**WT Águas Claras**	Hospital Regional de Urgência e Emergência de Juiz de Fora	Torre Boulevard de Belo Horizonte	Hospital Regional Dr. Márcio Paulino	**Projeto MINEIRÃO 2014**
EMPRESA DE CONSULTORIA	CTE	-	CTE	CTE	**CTE**	CTE	-	Nowa Solution	CTE
PROPRIETÁRIO	Forluz	-	-	-	**-**	Nelson Boechat Cunha Junior	-	Secretaria de Saúde do Estado de MG	DEOP-MG
ARQUITETO	-	-	-	-	**Edo Rocha**	MpBarros Arquitetos Associados	-	Brocs Arquitetura	BCMF Arquitetos
CIDADE	BH	Nova Lima	BH	BH	**Nova Lima**	Juiz de Fora	-	Sete Lagoas	BH
ESTADO	MG	MG	MG	MG	**MG**	MG	-	MG	MG
SISTEMA	LEED NC	LEED CS	LEED CS	LEED CS	**LEED CS**	LEED NC	-	LEED NC	LEED NC
VERSÃO	2.2	2.0	2.0	2.0	**2.0**	3.0	-	3.0	3.0
NÍVEL DE CERTIFICAÇÃO	-	-	-	-	**Silver**	-	-	-	-
PONTOS DE CERTIFICAÇÃO	-	-	-	-	**31**	-	-	-	-

A presença de profissionais com profundos conhecimentos acerca desse sistema é essencial para a adequação dos projetos às condições exigidas para receberem a certificação. Para isso, a formação de profissionais titulados com o LEED GA (*Green Associated*) e LEED AP (*Accredited Professional*) é de suma importância para a construção de um *Green Building* que pretende possuir algum selo LEED.

O LEED GA é destinado a profissionais que apoiam a construção verde, bem como suas operações. Um profissional desta categoria tem os conhecimentos fundamentais sobre as práticas sustentáveis em construções e do próprio sistema LEED.

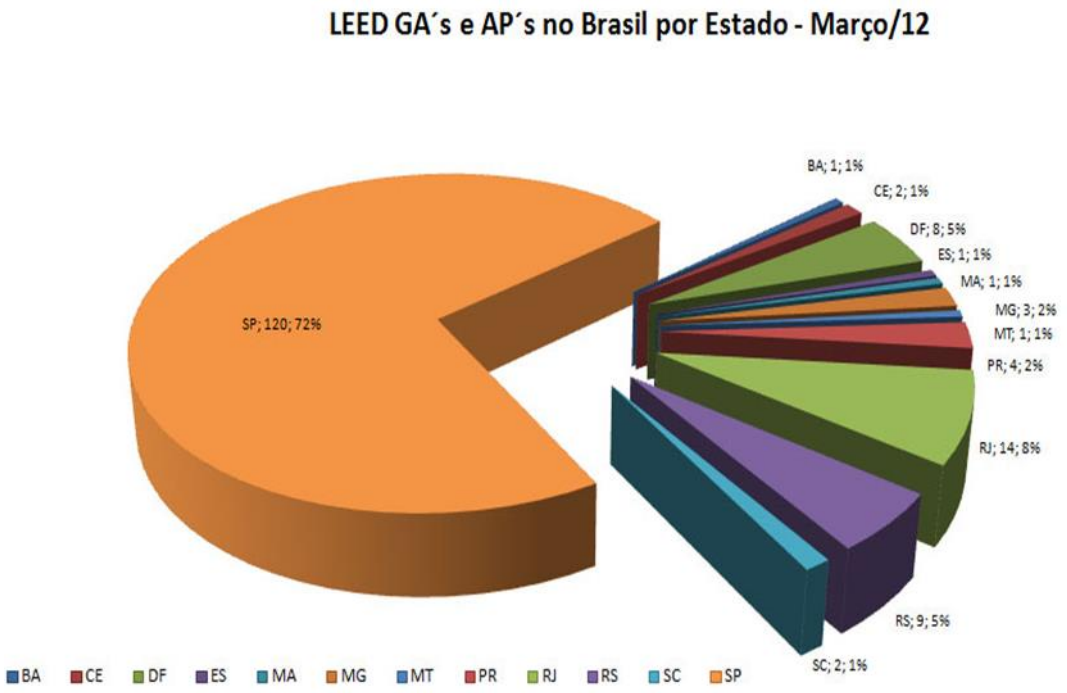
Profissionais LEED AP são aqueles que tiveram seus conhecimentos acerca do processo de certificação LEED atestados por um exame. Estes possuem conhecimento sobre as práticas de construção sustentável e os princípios do sistema de certificação LEED, podendo facilitar o processo de certificação atuando como um consultor.

O programa do LEED AP é baseado no U.S LEED *Rating System*. A prova pode ser feita em sete cidades brasileiras. Os exames são: *LEED Green Associate, LEED AP Building Design and Construction, LEED AP Interior Design and Construction, LEED AP Operations and Maintenance* e *LEED AP Neighborhood Development*.

A contratação destes profissionais ou empresas para prestar consultoria não é obrigatória mas é sempre muito recomendada, pois facilitarão o entendimento e a aplicação da ferramenta.

Atualmente existem mais de 140.000 mil profissionais acreditados LEED AP no mundo, de acordo com o Gráfico 17.2. São 166 Profissionais LEED no Brasil registrados até 04 de Abril de 2012, sendo 108 LEED AP's e 58 LEED GA's. No site do GBC Brasil estão disponíveis os nomes desses profissionais e maiores informações sobre a empresa que eles trabalham, nome e local. [7]

Gráfico 17.2 – Profissionais LEED GA's e AP's no Brasil por estado [7]



17.10 AQUA

A certificação para empreendimentos sustentáveis chamada Alta Qualidade Ambiental (AQUA) lançada em abril de 2008 pela Fundação Vanzolini, maior certificadora nacional, foi desenvolvida e adaptada para atender as características ambientais da realidade brasileira.

A AQUA, como o nome mesmo indica, atesta a alta qualidade ambiental do empreendimento provada por meio de auditorias independentes. Para obter a certificação, o empreendedor da construção deve estabelecer o controle total do projeto em todas as suas fases (programa, projeto, realização da obra e operação) por meio do Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE), para que sejam atendidos os critérios de desempenho da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE). A certificação é concedida ao final de cada fase, mediante verificação de atendimento ao Referencial Técnico [8].

Esse Referencial Técnico é um processo AQUA adaptado para o Brasil da francesa "*Démarche HQE*" e contém requisitos para o SGE, que exigem o comprometimento com o perfil da QAE visado e o acompanhamento, análise e avaliação da QAE ao longo do empreendimento, entre outros; assim como critérios de desempenho da QAE que abordam a eco-construção, eco-gestão e a criação de condições de conforto e saúde para o usuário.

Baseada em 14 critérios de sustentabilidade divididos nessas quatro fases, essa certificação se aplica para diversos empreendimentos - residenciais, comerciais, complexos esportivos e habitação popular. Isso abrange a concepção, o projeto, a construção e a fase de uso dos empreendimentos.

Os benefícios que a AQUA traz aos empreendedores são muitos, assim como aos usuários. Alguns deles, direcionados ao empreendedor, são: diferenciar seu portfólio no mercado, aumentar a velocidade de vendas ou locação, manter o valor do seu patrimônio ao longo do tempo, associar a imagem da empresa à AQUA, melhorar o relacionamento com órgãos ambientais e comunidades. Já para os compradores e usuários, a economia direta de

água e energia, o que proporciona menores custos de condomínio, melhores condições de conforto saúde e estética, conservação e manutenção. [9]

A análise é voltada para que o empreendimento cause baixo impacto ao meio ambiente, consuma menos recursos naturais e gere menos resíduos.

17.11 Selo CASA AZUL

Há iniciativas também da Caixa Econômica Federal (CEF) no segmento de casas populares, onde o Selo Casa Azul é destinado aos empreendimentos imobiliários que financiam e que adotem procedimentos e tecnologias sustentáveis.

O selo Casa Azul CAIXA é um instrumento de classificação socioambiental de projetos de empreendimentos residenciais e um diferencial competitivo para qualquer empreendimento, seja um edifício ou um conjunto de casas. Criado em 2009, este tem pretensão de incentivar o uso racional de recursos naturais na construção de empreendimentos habitacionais, reduzir o custo de manutenção dos edifícios e as despesas mensais de seus usuários, bem como promover a conscientização de empreendedores e moradores sobre as vantagens das construções sustentáveis.

Através da conquista desse selo, busca-se reconhecer os projetos de empreendimentos que demonstrem suas contribuições para a redução de impactos ambientais avaliados a partir de 53 critérios vinculados aos seguintes temas: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da agua e práticas sociais. Cada uma dessas categorias possui critérios opcionais e obrigatórios, à escolha do empreendedor, de acordo com as características regionais do empreendimento [10].

O Selo se aplica a todos os tipos de projetos de empreendimentos habitacionais apresentados à CAIXA para financiamento ou nos programas e repasse. Podem se candidatar ao Selo as empresas construtoras, o Poder Público, empresas públicas de habitação, cooperativas, associações e entidades representantes de movimentos sociais. [11]

A adesão ao selo é voluntária e o proponente deve manifestar o interesse em obtê-lo para que o projeto seja analisado sob a ótica deste instrumento. E, além disso, devem-se apresentar os projetos respeitando as normas técnicas vigentes, a documentação obrigatória em cada caso para legalização do empreendimento, datada e assinada pelo representante legal e por um responsável técnico pelos projetos, e informações técnicas completas referentes aos critérios a serem atendidos pelo projeto.

Após a verificação e comprovação do atendimento aos critérios, o empregado responsável pela análise poderá definir o nível de gradação do Selo a ser concedido ao projeto, segundo o atendimento mínimo disposto no Quadro 17.2 que determinará a classificação da gradação do empreendimento em “bronze, prata e ouro”.

Quadro 17.2 – Níveis de Gradação do Selo Casa Azul [11]

Gradação	Atendimento mínimo
BRONZE	Critérios obrigatórios
PRATA	Critérios obrigatórios e mais 6 critérios de livre escolha
OURO	Critérios obrigatórios e mais 12 critérios de livre escolha

Na sua concessão, serão fornecidos pela CAIXA aos proponentes do Selo o material de apoio e as orientações sobre o preenchimento da documentação, bem como a análise de viabilidade técnica dos projetos candidatos e a emissão do certificado. As obras serão vistoriadas com o objetivo de verificar se todos os critérios foram atendidos. Após aprovação do projeto, a CAIXA informará ao proponente a gradação alcançada pelo projeto, onde será emitido um certificado de concessão o referido Selo contendo o nível alcançado na contratação da proposta.

Figura 17.3 – Logomarcas do Selo Casa Azul níveis Ouro, Prata e Bronze [11]

Maiores informações sobre o Selo Casa Azul CAIXA podem ser encontradas no próprio Manual do Selo, disponível no site referenciado ao final deste documento [11].

17.12 Procel Edifica

A Etiqueta de Eficiência Energética faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e tem o objetivo de incentivar a iluminação e ventilação naturais, além do uso racional de água e de energia solar, reduzindo o consumo de energia elétrica e garantindo a qualidade do ambiente interno. [12]

Consolidado no Brasil em julho de 2009, o processo de etiquetagem ocorre em duas etapas explicadas posteriormente, começando pela certificação para edifícios comerciais, de serviço e públicos, mas no futuro os prédios residenciais provavelmente também venham a ter seus projetos avaliados e classificados. [12]

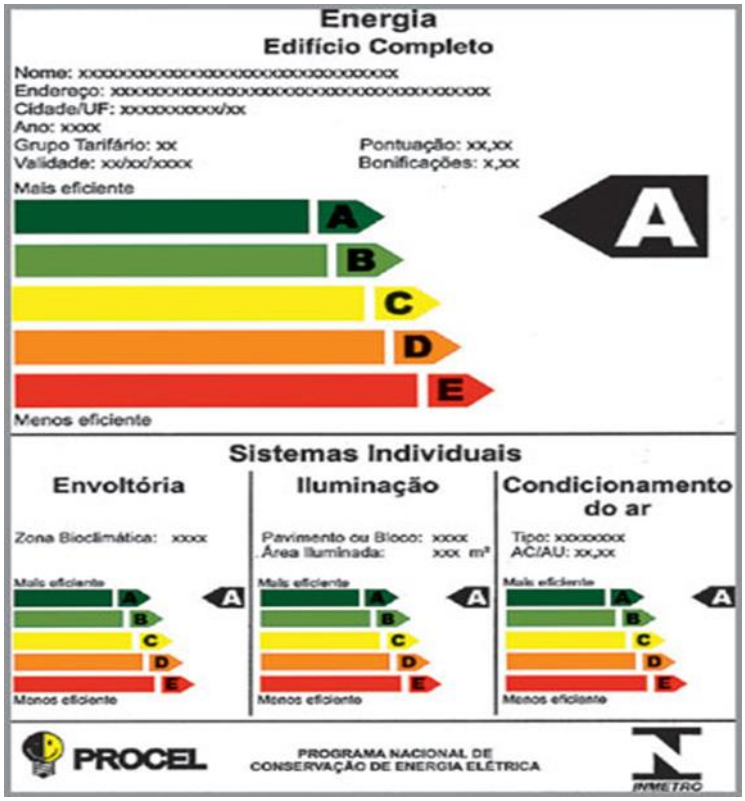
A metodologia aplicada para a certificação foi desenvolvida por convênio entre a estatal Eletrobrás, por meio do Procel Edifica, e o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da UFSC, com a participação de uma comissão formada por membros do Inmetro, do Cepel, Confea, IAB, Caixa Econômica Federal, de universidades e de associações de fabricantes de materiais de construção. Depois de aprovada pelo Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) do Ministério de Minas e Energia, a mesma foi submetida à consulta pública. A partir daí, como subsídio à regulamentação, foi gerado um conjunto de publicações que orientam sobre o regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética dos edifícios, o regulamento de avaliação da conformidade e o manual para aplicação desses regulamentos. [12]

São duas as formas para classificação do nível de eficiência energética do edifício: método prescritivo, onde é usada uma equação que se pondera os subsistemas; e por simulação computacional, quando se compara o consumo anual de energia do projeto proposto simulado com um modelo de referência construído pelo método prescritivo para o nível de eficiência que se deseja alcançar. [13]

A etiqueta para os edifícios é semelhante àquela já utilizada pelo Inmetro nos equipamentos eletrodomésticos, sendo que, para as tipologias de edificações da primeira etapa, considera-se a classificação do nível de eficiência energética de três subsistemas, sendo esses a Envoltória (relacionada aos materiais usados nas fachadas e cobertura), a Iluminação e o Condicionamento do Ar, conforme Figura 17.4. Os edifícios que já são ventilados naturalmente, mesmo que não sejam integralmente, poderão ter a parcela naturalmente ventilada para que seja classificada a sua eficiência, considerando critérios de conforto ambiental. [13]

Os projetos devem ser analisados e comtemplados com etiquetas de classificação que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) e poderá ser feita de forma parcial. A envoltória, contudo, sempre terá que ser avaliada. Nesta primeira etapa são etiquetáveis as edificações comerciais, de serviço e públicas com área a partir de 500 m² ou com tensão superior a 2,3 kV. [13]

Figura 17.4 – Níveis de classificação de eficiência energética para edificações, abrangendo envoltória, iluminação e condicionamento de ar [12]



Após a avaliação do projeto da edificação, a etiqueta é concedida para o mesmo. Já para as edificações construídas, esta é concedida após inspeção amostral, onde é verificada a conformidade entre a obra e o projeto. Para que uma edificação obtenha boa classificação, deverá seguir os critérios estabelecidos com essa finalidade nos regulamentos técnicos publicados pelo Inmetro. [13]

Existem diversos pré-requisitos a serem atendidos, como a possibilidade de medição individualizada de cada um dos subsistemas (nos prédios novos) até pré-requisitos específicos para cada um dos subsistemas, destaque para a adequação dos materiais das fachadas às condições bioclimáticas da região em que o prédio está localizado; soluções de iluminação que permitam conjugar iluminação natural e artificial ou desligamento automático da iluminação e sombreamento de aparelhos de ar condicionado pela janela. [13]

Inicialmente a etiquetagem é implantada de forma gradual e voluntária, porém passará a ser obrigatória no futuro. As construtoras que não aderirem à conservação energética provavelmente ficarão fora do mercado. A validade da etiqueta é de cinco anos, prazo em que os edifícios certificados deverão passar por novas avaliações do Inmetro. [12]

Até o ano de 2009 já haviam cerca de dez edifícios etiquetados no Brasil, além daqueles que estão em processo de concessão da etiqueta. Prédios novos e existentes podem ser etiquetados desde que tenham os projetos completos. [13]

17.13 O custo das Certificações das Construções Sustentáveis

O custo do processo de certificação das construções sustentáveis é um fator importante a ser considerado na hora de escolher à qual órgão será submetido o empreendimento, pois influenciará no custo final de determinada construção.

Cada órgão de avaliação de sustentabilidade e certificação possui um custo estimado de acordo com o seu próprio critério de avaliação. Serão citadas a seguir algumas organizações brasileiras de certificação das construções sustentáveis.

17.13.1 LEED

O custo do processo de certificação LEED é estipulado de acordo com a área total do empreendimento e é divido em auditorias de projetos e da obra, podendo ser analisados juntos ou separadamente, de acordo com a Tabela 17.6 a seguir.

O registro inicial do projeto junto ao *Green Building Council* é estimado em – $1.200 para não membros ou $900 para membros da USGBC. Após o registro, realiza-se todo o processo de certificação.

Tabela 17.6 – Custos da certificação LEED [13]

CERTIFICAÇÃO LEED (GREEN BUILDING COUNCIL)			
	Menos de 4.645 m²	4.645 – 46.451 m²	Mais de 46.451 m²
LEED 2009, nova construção, interiores comerciais, escolas, certificação Core & Shell completa	Taxa fixa	Baseado na metragem quadrada*	Taxa fixa
Auditoria de projetos			
Membros USGBC	US$ 2,000	US$ 0.4306/m²	US$ 20,000
Não membros	US$ 2,250	US$ 0.4844/m²	US$ 22,500
Taxa especial*	US$ 5,000, independentemente da área		
Auditoria da obra			
Membros USGBC	$500 US$ 500	US$ 0.1076/m²	US$ 5,000
Não membros	$750 US$ 750	US$ 0.1615/m²	US$ 7,500
Taxa especial *	US$ 5,000, independentemente da área		
Auditoria de projeto e obra juntos			
Membros USGBC	US$ 2,250	US$ 0.4844/m²	US$ 22,500
Não membros	US$ 2,750	US$ 0.5920/m²	US$ 27,500
Taxa especial*	US$ 10,000, independentemente da área		
LEED-EB-OM para os edifícios existentes	Taxa fixa	Baseado na metragem quadrada	Taxa fixa
Auditoria para certificação inicial			
Membros USGBC	US$ 1,500	US$ 0.3229/m²	US$ 15,000
Não membros	US$ 2,000	US$ 0.4306/m²	US$ 20,000
Taxa especial*	US$ 10,000, independentemente da área		
Auditoria para recertificação			
Membros USGBC	US$ 750	US$ 0.1615/m²	US$ 7,500
Não membros	US$ 1,000	US$ 0.2153/m²	US$ 10,000
Taxa especial *	US$ 10,000, independentemente da área		
LEED para Core & Shell: pré-certificação	Taxa fixa		
Membros USGBC	US$ 3,250		
Não membros	US$ 4,250		
Taxa especial *	US$ 5,000		
CIRs (para todos os sistemas de classificação)			

O processo de certificação acompanha todo o cronograma do empreendimento, desde a fase inicial da escolha do local e o desenho do projeto até a entrega da obra. Pode ser feito em duas vezes, na fase do projeto e no término da obra, o que o torna mais caro.

A consultoria não é obrigatória, sendo aproximadamente 0,5 a 1% do custo da obra. Porém, recomenda-se a contratação do consultor que é um profissional treinado e qualificado pelo LEED para tramitar toda a documentação junto ao Conselho. [14]

Após a sua finalização e o início de operação do empreendimento, informações relativas ao projeto e o processo de construção são encaminhadas ao USGBC que, em um prazo de 25 dias úteis, realiza uma auditoria documental.

Novas informações podem ser solicitadas à equipe do empreendimento para uma segunda avaliação. Deve-se considerar um prazo médio de 4 a 6 meses após a conclusão da obra para obter a certificação LEED. [14]

17.13.2 AQUA

O valor total da certificação do Processo AQUA pela Fundação Vanzolini, incluindo as auditorias presenciais, avaliações e emissões dos certificados nas três fases - Programa, Concepção e Realização - para um edifício comercial padrão com cerca de 10.000 m² construídos é de R$ 31.200,00, o que corresponde a R$ 3,12/m². [13]

Como regra geral, o valor vai de R$ 17.500,00 para projetos com até 1.500 m² construídos, e acima de 1.500 m² construídos o valor é de 1,609 R$/m². Para 45.000 m² ou mais metros quadrados construídos, o valor é R$ 87.500,00. [13]

Para esse tipo de avaliação requer auditorias presenciais em todas as fases do projeto, ao mesmo tempo que é mais flexível, buscando soluções que possam ser adotadas de acordo com a realidade no Brasil.

17.13.3 Selo Casa Azul CAIXA

O processo de certificação para obtenção do Selo Casa Azul não é cobrado. Ao financiar um empreendimento habitacional, a Caixa recebe os projetos, analisa, visita a área e acompanha a obra até a entrega. É cobrada apenas uma taxa de análise de projeto candidato ao Selo emitida na entrega da documentação para cobertura dos custos da análise técnica, no valor conforme a fórmula R$ 40,00 + 7 (n-1) limitada a R$ 328,00, sendo n = número de unidades. [11]

No caso de vistorias específicas extras para os itens do Selo que às vezes têm que ser feitas fora das vistorias normais do financiamento, não haverá taxa a ser paga.

17.13.4 Procel Edifica

O custo médio estimado da avaliação do nível de eficiência energética de um projeto feito por um órgão de inspeção acreditado pelo Inmetro e de acordo com a metodologia de etiquetagem de edifícios é de R$ 15 mil a R$ 20 mil. [13]

Nesse tipo de órgão certificador não é possível estipular um custo médio por metro quadrado.

17.14 O preço da Construção Verde

Um *green building* geralmente tem um custo um pouco acima das construções tradicionais, porém este extra depende dos hábitos de trabalho de cada construtora. O preço de implementação de alguns sistemas ecológicos é, em média, 10% mais alto.

A UFRJ elaborou um estudo onde foi provado que o desperdício em obras atingem cerca de 11 a 15% do seu custo. “E as construções verdes, que empregam a valorização da qualidade do empreendimento, representam um desembolso de 5 a 10% do valor total”, afirma Nelson Kawakami, diretor executivo do GBC Brasil. Um ótimo fator para que não se aumente muito os custos de uma construção sustentável é manter bons contratos trabalhis-

tas, compra de materiais com nota fiscal, gestão de resíduos, e quanto mais rápido se adaptar à idéia, melhor a relação dos custos, pois muitos itens poderão ser incorporados na arquitetura, e não na forma de equipamentos de ponta para remediar falhas de projeto, afirma Luiz Henrique Ferreira. [15]

Para se ter uma idéia da importância de se agilizar o processo da construção sustentável, 40% de todos os recursos naturais disponíveis no planeta são consumidos pelo setor da construção civil. Ao longo de sua vida útil, 80% do custo total de um edifício equivalem à etapa de operação e apenas 20% à de construção, o que significa que quem investe um pouco mais para ampliar a ecoeficiência do empreendimento do qual será também usuário obtém retorno rápido por meio da redução dos gastos operacionais, principalmente com água, que chega a uma estimativa de economia de 30% e energia, pode vir a ter uma queda de 15%.

Outro fator que pode vir a mudar com a construção sustentável são os valores dos aluguéis e dos condomínios que possuem um aumento e queda, respectivamente. Geraldo Bernardes, diretor de Sustentabilidade e vice-presidente de Administração Imobiliária e condomínios do Secovi-SP, esteve nos Estados Unidos para um encontro sobre o tema. "Voltei com números importantes para o mercado que devem estimular a busca pela certificação", relata referindo-se à pesquisa do IREM - *Institute of Real Estate Management*. Segundo a pesquisa, prédios verdes americanos tiveram queda no custo do condomínio de 13,6% entre 2005 e 2008. Já o valor desses edifícios (residenciais e comerciais) subiu 10,9%. O preço do aluguel também indica bons ventos para as versões de imóveis sustentáveis: chegam a custar até 25,7% mais. [15]

Com o aumento pela procura da certificação para construções sustentáveis, o preço das construções verdes vem diminuindo cada vez mais. Entre 2010 e 2011, a procura quase dobrou no Brasil, e a expectativa é de continuar crescendo no ano de 2012. [16]

Este cenário vem se pendenciando a um comportamento raro de quando os interesses ambientais se unem aos econômicos, porque apesar de uma construção sustentável possuir um valor 1% a 7% mais caro, em média, a valorização estimada na revenda é de 10% a 20%, além de o investimento proporcionar até 30% de redução no valor do condomínio e diminuição média de 9% no custo de operação durante toda a vida útil. [16]

17.15 Construções já existentes também podem se tornar sustentáveis?

É possível, porém é um grande desafio tornar os edifícios já existentes sustentáveis, pois eles acabam sendo grandes responsáveis pelo esgotamento da água e energia do planeta. Muitas vezes essa possibilidade se mostra inviável economicamente, sendo necessária uma análise do projeto em cada caso.

O processo de reabilitação de edifícios para torná-los sustentáveis é bem mais complexo do que uma construção nova já sustentável. Além da questão da ocupação dos edifícios, normalmente esse processo encontra dificuldades devido ao canteiro de obras restrito, alta quantidade de resíduos de demolição, falta de cadastramento da situação real do edifício e incômodos gerados aos usuários e vizinhos. [17]

O Instituto AQUA, assim como o GBC Brasil, oferece certificações para construções que se encaixem nesse perfil. Para torná-la sustentável é preciso fazer uma análise minuciosa da situação atual baseados na qualidade ambiental das práticas (QAP) e na qualidade intrínseca do edifício (QI), que atende aos critérios de sustentabilidade como elementos de sombreamento de fachada, sistemas de ventilação natural, facilidade de acessos para manutenção, iluminação natural, entre outros.

Uma vez concluída a análise inicial, é preciso traçar uma estratégia ambiental do edifício, hierarquizando quais iniciativas deverão ser postas em prática primeiro, sempre levando em consideração a relação custo x benefício x preservação do meio ambiente. [17]

No Brasil tem-se um exemplo de construção existente que se tornará um prédio sustentável, a Câmara Municipal de São Paulo. O projeto de *retrofit* da sede do Legislativo (Palácio Anchieta) trará uma série de vantagens à mesma que vão desde a economia de água e de energia a um ambiente de trabalho mais saudável e confortável, com melhor qualidade do ar e iluminação. Além destas iniciativas, o projeto também conta com implantação de uma cobertura vegetal (telhado verde), a implantação de um sistema de aproveitamento da água da chuva e a utilização de energia solar para o funcionamento das copas. [18]

No âmbito da economia energética, preveem a instalação de um sistema de ventilação central com uso de gás ecológico, diminuindo os gastos com ar condicionado e possibilitando a reforma da fachada do edifício, atualmente ocupada pelos aparelhos. Além disso, com mudanças na iluminação, o uso de luminárias pode cair em até 50%. As reformas deverão ser sustentáveis também na sua execução, com o aproveitamento de materiais de demolição e contratação de empresas regionais, diminuindo custos e impactos de transporte. [18]

17.16 Exemplos de Construções Sustentáveis no Mundo

O *Green Building* é uma nova opção para empreendimentos que visam obter características sustentáveis desde a concepção do projeto até seu uso e manutenção depois de concluído.

Essa idéia já é bastante disseminada em nível mundial. Vários países já investem nesse tipo de construção sustentável, e alguns ainda têm pretensões em investimentos futuros que relacionam esse tipo diferenciado e inovador de construção com a preservação do meio ambiente.

A certificação LEED é a mais difundida e utilizada no mundo, sendo que no ano de 2011 cerca de 15.248 empreendimentos foram certificados com o selo LEED, dentre esses 10.189 comerciais. Haviam também vários empreendimentos registrados no mesmo ano, sendo 69.483 em processo e 42.057 desses são comerciais. [14]

A revista especializada em engenharia Téchne publicou no ano de 2010 uma série com as obras mais sustentáveis do mundo, pois apresentam sistemas eficientes e foram construídos com matérias-primas renováveis. Essa relação será citada a seguir, juntamente com a respectiva cidade e país em que a obra referida está localizada. [19] [20].

- Bank of America Tower, One Bryant Park - Nova York, Estados Unidos: foi o primeiro edifício do mundo a receber o selo de certificação ambiental LEED Platinum;

- Edifício Council House 2 (CH2)– Melbourne, Austrália: foi o primeiro a receber a classificação Seis Estrelas no Green Building Council da Austrália;

- Edifício 30 The Bond - Sydney, Austrália: a obra alcançou cinco estrelas no Green Star and Building Greenhouse Rating Scheme (ABGR);

- Edifício BMW Welt – Munique, Alemanha: o edifício é um exemplo de que a engenharia alemã é uma das melhores do mundo;

- Museu e Biblioteca Clinton Presidential, Little Rock - Arkansas, Estados Unidos: considerado uma das construções mais verdes do mundo, recebeu certificações LEED Sylver e Platinum;

- Centro de Visitas do Jardim Botânico VanDusen – Vancouver, Canadá: recebeu a certificação LEED Platinum;

- Sede do Jornal The New York Times - Nova York, Estados Unidos: é considerada uma estrutura verde, embora não possua certificado LEED;

- Aeroporto de Oslo – Gardermoen, Noruega: é um exemplo de construção criada com materiais sustentáveis;

- Parlamento Alemão – Berlim, Alemanha: o destaque da edificação é o uso intensivo de energias primárias renováveis, como biodiesel, que é produzido no próprio edifício;

- Sede do Banco Commerzbank - Frankfurt, Alemanha: é considerado o primeiro edifício de escritório ecológico do mundo;

- Hospital Dell'Angelo – Veneto, Itália: é considerado o primeiro prédio hospitalar sustentável do mundo.

Além desses exemplos concretos, existem vários projetos futuros de *green buildings* no mundo. Destacam-se entre esses: o projeto para aeroporto Internacional do Kuwait, que visa receber a certificação LEED Gold; o Crystal Island Tower em Moscou – Rússia, um projeto em construção que será uma das estruturas mais altas no planeta e a mais larga; um projeto de um edifício de estrutura de madeira com 30 pavimentos em Vancouver – Canadá; e um projeto para a mina desativada em Mirny, no leste da Sibéria, para se transformar em uma cidade subterrânea, a Eco-City 2020.

17.17 Exemplos de Construções Sustentáveis no Brasil

A construção sustentável no Brasil vem ganhando cada vez mais espaço no mercado nacional. O país ocupa lugar de destaque no mundo em construções certificadas que possuem selo de *Green Buildings*, e pretende ampliar sua participação nesse novo mercado promissor.

De acordo com a certificação LEED, até abril de 2012 o Brasil possui 46 empreendimentos certificados e mais de 500 em processo de registro. Já pelo processo AQUA são certificados cerca de 40 empreendimentos no país. [14] [9].

- Alguns desses serão citados a seguir como exemplos de construções sustentáveis nacionais:

- Agência do Banco Real na unidade da Granja Viana, em Cotia – SP: foi o primeiro projeto certificado no Brasil com o selo LEED;

- Edifício-sede da Petrobras no Rio de Janeiro - RJ: exemplo de construção sustentável no Brasil;

- Complexo de escritórios Rochaverá Corporate Towers em São Paulo - SP;

- Condomínio Comendador Yerchanik Kissajikian (CYK), localizado na Avenida Paulista – São Paulo, SP;

- Concessionária do Grupo Servopa, na Av. das Torres – Curitiba, PR;

- Loja da Starbucks Brasil, localizada no Shopping Rio Sul – Rio de janeiro, RJ;

- O grupo de supermercados Pão de Açúcar, nas unidades de Indaiatuba – SP, e na Vila Clementino.

Existem também alguns registros de empreendimentos que pretendem obter a certificação no país, como o projeto do primeiro Shopping Center com certificação *Green Building* no Brasil: o Américas Shopping, que será construído no Recreio dos Bandeirantes, no Rio de Janeiro; o projeto da primeira loja de varejo com certificação sustentável no país, a Leroy Merlin localizada em Niterói, no estado do Rio de Janeiro; além de outros investimentos, também no Rio, de centros culturais construídos dentro dos padrões da certificação LEED, o Museu da Imagem e do Som (MIS) e o Museu do Amanhã.

O país possui grande potencial de investimento nessa área de construção sustentável e certamente continuará buscando outras maneiras de inserir os métodos utilizados para descrever projetos considerados *Green Buildings* em empreendimentos futuros para se tornar referência mundial.

17.18 Projetos Futuros de Construções Sustentáveis no Brasil para a Copa 2014

Em meio à preparação para a Copa do Mundo de 2014 que será realizada no Brasil, o país quer entrar para a história como o primeiro país a sediar jogos de uma Copa do Mundo em estádios com certificação LEED.

Aproveitando a grande disponibilidade desse recurso renovável e abundante no nosso país, que detém posição privilegiada perante outros países no mundo, a utilização da energia solar é um requisito crucial do projeto Estádios Solar que busca disseminar esse tipo de fonte alternativa de energia para que seja vista como uma aliada ao aumento da geração distribuída de energia limpa no país.

A busca pelo certificado verde em todos os estádios da Copa é um movimento de sistemas integrados que pretendem captar a água do telhado dos estádios e enviar à um reservatório de grande capacidade para suprir o percurso de estiagem, e em destaque a implantação nos telhados dos estádios de coletores solares térmicos e de painéis fotovoltaicos que transformam a energia solar em energia elétrica, energia esta que será reutilizada para suprir a demanda energética dentro do próprio estádio. Essas medidas farão com que o país seja um exemplo mundial podendo utilizar desse evento esportivo que é a Copa para difundir as práticas ambientalmente corretas e espalhá-las para o mundo.

Na Tabela 17.7 apresenta-se a lista dos estádios selecionados para sede dos jogos da Copa 2014, bem como a respectiva cidade e estado em que se localiza.

Tabela 17.7 – Lista dos estádios selecionados para sede dos jogos da Copa 2014 [21]

Cidade	Estado	Estádio
Belo Horizonte	MG	Mineirão
Brasília	DF	Estádio Nacional de Brasília
Cuiabá	MT	José Fragelli (Verdão)
Curitiba	PR	Complexo Esportivo Curitiba
Fortaleza	CE	Governador Plácido Castelo (Castelão)
Manaus	AM	Arena Amazônica
Natal	RN	Arena das Dunas
Porto Alegre	RS	José Pinheiro Borba (Beira-Rio)
Recife	PE	Arena Cidade da Copa
Rio de Janeiro	RJ	Mário Filho (Maracanã)
Salvador	BA	Fonte Nova
São Paulo	SP	Morumbi

Cada estádio selecionado possui um projeto específico que contemplam essas diretrizes sustentáveis citadas acima, sendo que dependem de um cronograma previsto para andamento das obras e de um investimento previsto. [21]

O Estádio Nacional de Brasília (Mané Garrincha) quer ser uma das arenas de futebol mais sustentáveis do mundo, onde o mesmo pleiteia a certificação LEED Platinum, fornecido pelo instituto americano GBC. [22]

A busca pela sustentabilidade é uma questão estratégica global que vem sendo utilizada por vários países, e essa iniciativa brasileira de utilizar a captação solar para produzir energia elétrica tem como objetivo se tornar exemplo mundial com essa ideia inovadora.

17.19 Conclusão

A questão ambiental vem sendo debatida em todo o mundo, e tornou-se necessário adequar a arquitetura a esta demanda. O conceito de *Green Buildings* baseia-se no desenvolvimento de modelos que permitam à construção civil enfrentar e propor soluções aos principais problemas ambientais de nossa época, sem renunciar à moderna tecnologia e a criação de edificações que atendam as necessidades de seus usuários.

Diversos países criaram critérios de avaliação para certificação de construções sustentáveis. Cada órgão certificador dessas construções verdes contém particularidades nos sistemas de avaliação e certificação, como características diversas em sua metodologia, sendo a identificação destas diferenças importante para a escolha de qual sistema utilizar. Contudo existem preocupações comuns a todos, como a geração de resíduos, preservação dos recursos naturais, energia e água, redução da emissão de gases, interação com o entorno e conforto do usuário. Esses são preceitos cruciais que pretendem assegurar que um empreendimento é realmente sustentável e que efetivamente reduz os impactos ambientais.

A representatividade dessa nova categoria de construção diferenciada no mercado da construção está crescendo cada vez mais. Existe no mundo um número considerável de empreendimentos certificados e alguns registrados, ainda em processo de certificação. Há uma tendência positiva que pretende alavancar seu crescimento em âmbito mundial pela valorização dos imóveis credenciados que possuem essa preocupação ambiental, tão importante nos dias de hoje.

O Brasil também se destaca nesse ramo de construções verdes, investindo em projetos ecologicamente corretos que se encaixam aos preceitos sustentáveis. A Copa 2014 sediada no país será uma oportunidade de mostrar ao mundo sua preocupação ambiental, investindo na construção verde dos estádios sediados pelos jogos, e o seu enorme potencial de crescimento quanto à utilização desse mercado promissor de *Green Buildings*.

Capítulo 18*:* Tecnologias de geração de energia: Resíduos[18]

18.1 Sumário executivo

Atualmente, grande quantidade de resíduos é gerada nas mais diversas atividades humanas. O que fazer com esse resíduo têm sido uma pergunta recorrente, que pode ter diferentes respostas.

A destinação adequada do resíduo depende do seu tipo, de sua classificação, da quantidade gerada, e ainda de aspectos econômicos, ambientais e socias, entre outros.

A preocupação ambiental está em evidência nos dias de hoje. Leis, como a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, foram criadas com o objetivo de regulamentar e fiscalizar o cenário de resíduos no país. Esses, quando destinados de forma incorreta, podem gerar impactos negativos ao meio ambiente, além de doenças que ameaçam a saúde humana.

O número de resíduos gerados aumenta a cada ano, o que causa preocupação e uma constante busca de soluções, para tornar algo que era considerado sem valor em algo útil e até desejável. Os resíduos podem ser reciclados, podem virar adubo orgânico, gerar biogás para uso energético, etanol, enfim, uma variedade de produtos.

A geração de energia é uma alternativa de destinação para os resíduos que merece destaque. Há diferentes tecnologias para realizar essa conversão, as quais visam aproveitar ao máximo a energia proveniente do lixo, que seria desperdiçada.

A valorização dos resíduos surge como um fator competitivo entre as empresas. Novas pesquisas e investimentos na área são necessários para permitir a viabilidade técnica e econômica de tais projetos. Os resíduos apresentam alto potencial de aproveitamento e devem receber atenção em um mundo que cada vez mais preza pela sustentabilidade.

18.2 Descritivo Básico

Resíduo é definido como o material que sobra após uma ação ou processo produtivo. Ou seja, é tudo aquilo que não é aproveitado pelas atividades humanas. Existem vários tipos de resíduos, que são geralmente classificados quanto à sua origem.

É importante destacar a diferença entre lixo e resíduo. O lixo, ou rejeito, é o que sobra das atividades humanas e é considerado por quem o gera como algo inútil, sem valor e indesejável. Já o resíduo pode ser reutilizado ou reciclado, adquirindo valor.

Os resíduos devem receber tratamento e destinação final adequada, dependendo de sua classificação, pois esses podem ser nocivos ao meio ambiente e à saúde pública quando não gerenciados de forma correta, tornando-se um problema, como ilustra a Fig. 18.1.

[18] Trabalho realizado pela estagiária Júnia Pereira, em 2012.

Figura 18.1 – O problema dos resíduos [1]

Uma opção de destinação final para os resíduos que cada vez mais é praticada, é a utilização desses para obtenção de energia, que mostra-se muito vantajosa do ponto de vista da sustentabilidade, além de uma oportunidade de negócios.

As atividades produtivas que geram resíduos e dejetos são primeiramente reguladas pelo Sisnama (Sistema Nacional do Meio Ambiente), que tem como órgão executor o Ibama (Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis).

O Sisnama é regido pelo Ministério do Meio Ambiente e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). O sistema é também composto por órgãos e entidades estaduais e municipais. Os órgãos estaduais tem como função executar programas e projetos, além de fiscalizar atividades com potencial danoso ao meio ambiente. Já os órgãos municipais tem como atribuição controlar e fiscalizar tais atividades no seu âmbito de atuação [2].

18.2.1 Destinação final

A Tab. 18.1 apresenta o destino final dos resíduos no Brasil.

Tabela 18.1 – Destino final dos resíduos (em %) [3]

Grandes Regiões	Vazadouro	Aterro			Usina		
		Controlado	Sanitário	Total	Compostagem	Reciclagem	Total
Norte	89,7	4,0	3,7	7,7	2,6	0,0	2,6
Nordeste	90,7	5,4	2,3	7,9	0,7	0,7	1,5
C.Oeste	54,0	27,0	13,1	40,1	5,0	0,3	5,9
Sudeste	26,6	24,6	40,5	65,2	4,4	3,5	8,2
Sul	40,7	52,0	4,9	57,0	1,0	1,2	2,2
Brasil	49,3	21,9	23,3	45,3	3,0	2,2	5,4

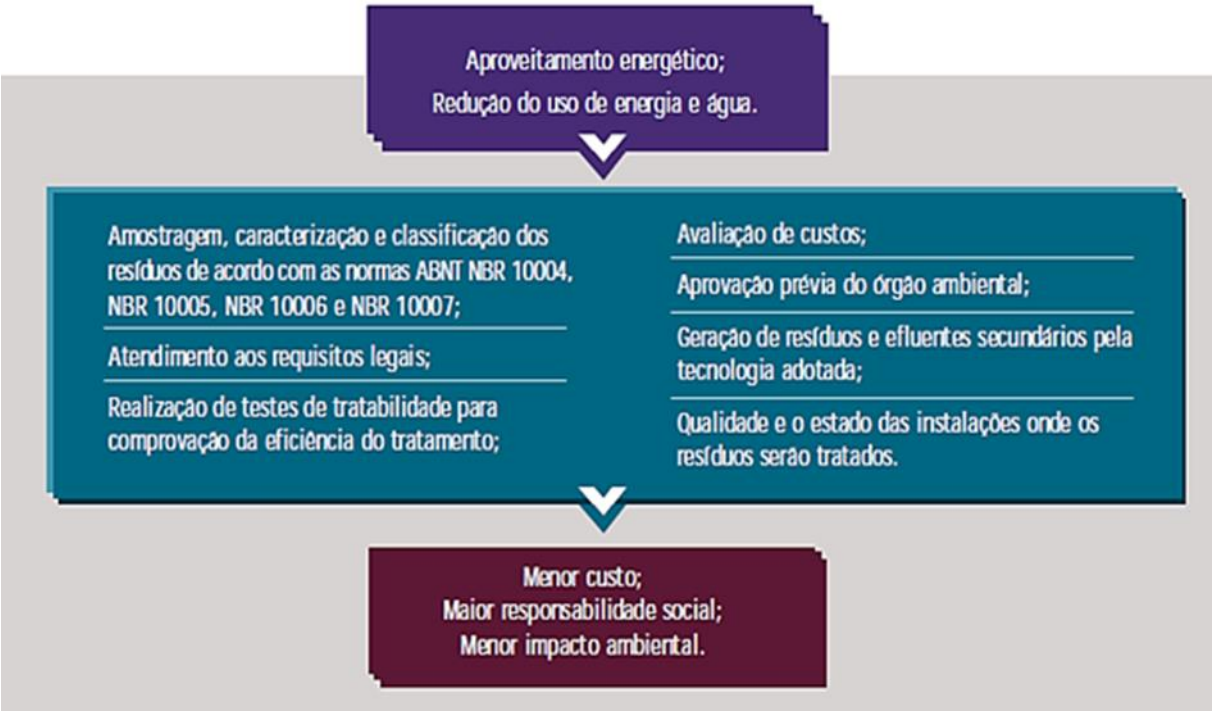
Deve-se realizar uma análise de custo/benefício entre todas as alternativas possíveis de destinação final do resíduo. Os seguintes aspectos devem ser considerados para a escolha da destinação mais adequada:

- Tipo de resíduo;
- Classificação do resíduo;

- Quantidade do resíduo;
- Métodos técnica e ambientalmente viáveis de tratamento ou disposição;
- Disponibilidade dos métodos de tratamento ou disposição;
- Resultados de longo prazo dos métodos de tratamento ou disposição;
- Custos dos métodos de tratamento ou disposição. [4]

O fluxograma da Fig. 18.2 orienta na escolha da melhor tecnologia para tratamento e disposição final dos resíduos, observando critérios técnicos, econômicos e financeiros.

Figura 18.2 – Escolha da melhor tecnologia para tratamento e disposição final dos resíduos [4]



18.3 Metodologia

Para o desenvolvimento deste relatório foi feito um levantamento inicial de referências bibliográficas em sites da internet. Posteriormente, fez-se um refinamento das fontes encontradas e um encadeamento de informações para a produção do texto.

Realizou-se uma pesquisa descritiva sobre o assunto em questão, procurando ressaltar os aspectos mais relevantes do tema.

18.4 Resíduos Sólidos Urbanos

18.4.1 Introdução

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são substâncias, materiais, objetos ou bens descartados, de origem urbana, gerados nas mais diversas atividades humanas praticadas em sociedade. Esses resíduos podem ser provenientes de residências, comércios, varrição, poda e feiras (público).

O termo é amplo e engloba não só os resíduos sólidos, mas ainda materiais no estado semissólido, como lodos e até líquidos.

A Fig.18.3 mostra uma forma de classificação dos resíduos sólidos em função da sua origem.

Figura 18.3 – Classificação dos resíduos urbanos segundo a sua origem

Quanto as suas características físicas, os resíduos podem ser classificados como:

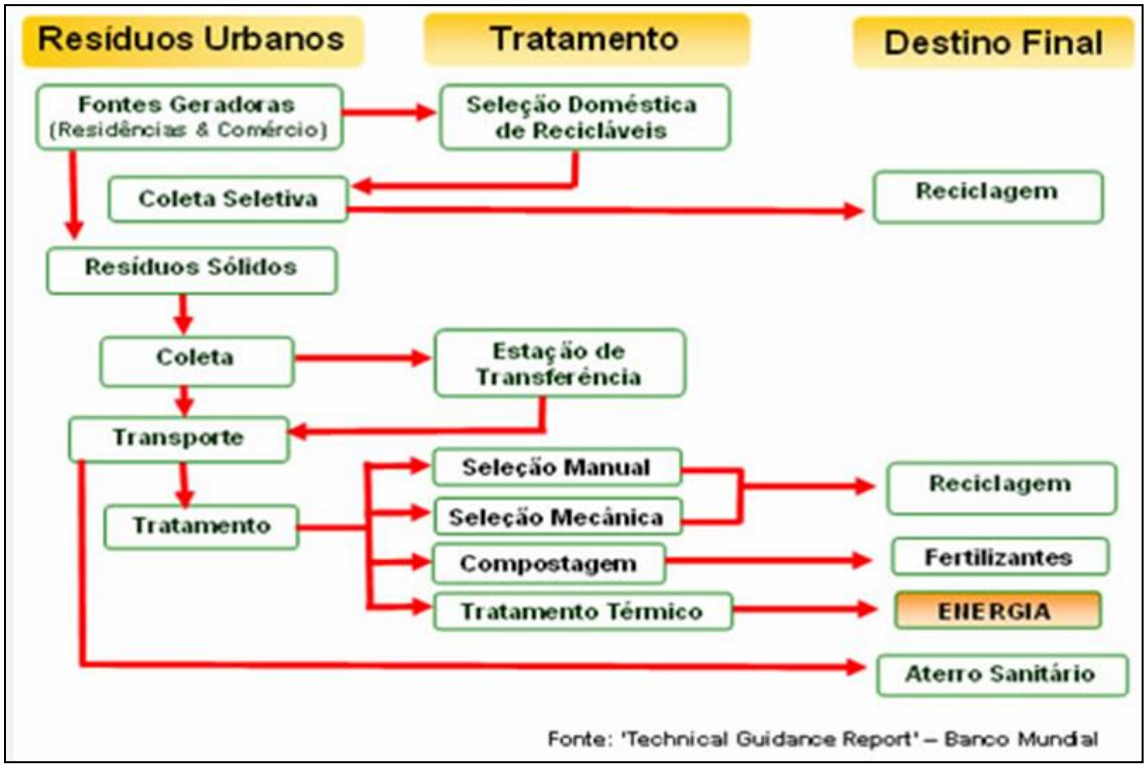
- materiais inertes: vidros, metais, terras e cinzas e restos inertes ou;
- materiais combustíveis: papéis, cartões, plásticos, madeira, couro, alimentos e outros.

O nível de desenvolvimento de uma região influencia diretamente sua produção de lixo. Pode-se dizer que, em geral, quanto mais evoluída essa for, maior a quantidade de resíduos gerados. Outros fatores que apresentam influência são: densidade demográfica, variações sazonais, mudanças climáticas, hábitos e costumes da população, leis e regulamentações específicas, entre outros.

18.4.2 Destinação do RSU

A Fig. 18.4 mostra um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos até sua destinação final. Esses devem ser coletados, transportados, passar por um tratamento, observando questões sociais, ambientais e econômicas, e, por fim, receber a destinação final mais adequada.

Figura 18.4 – Destinação do RSU [5]

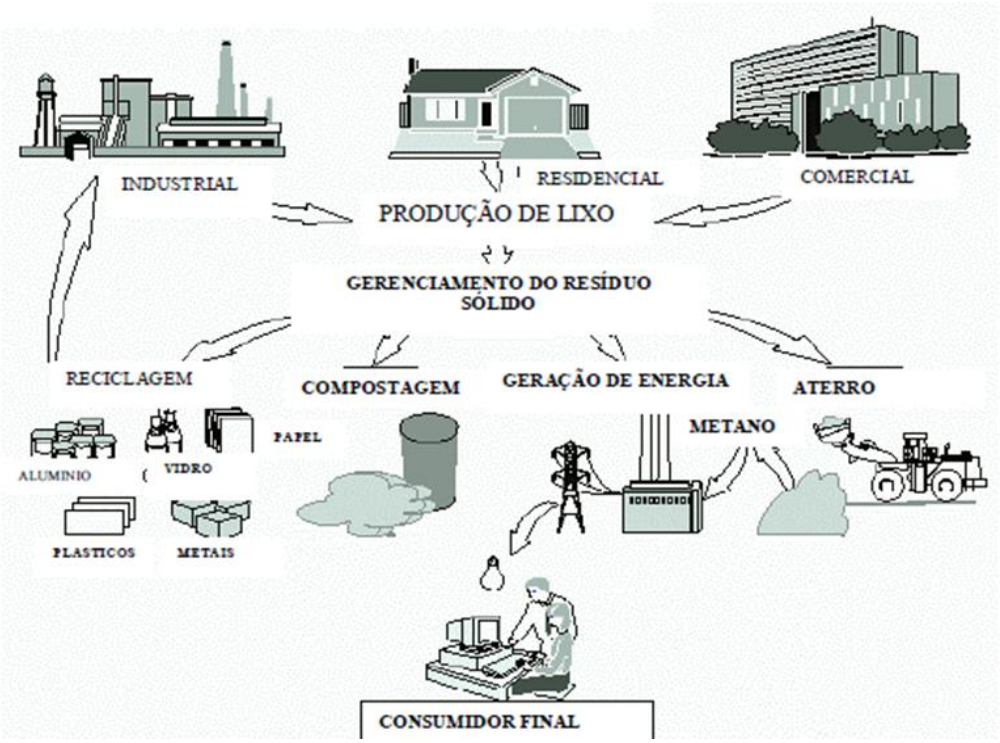


Geralmente, o RSU tem quatro alternativas de destinação, além do lixão, que não é uma forma de destinação recomendada:

- Reciclagem;
- Compostagem;
- Aterro (controlado ou sanitário);
- Geração de energia.

A Fig. 18.5 ilustra as possíveis rotas dos resíduos sólidos urbanos.

Figura 18.5 – As rotas dos resíduos sólidos [6]



18.4.3 Lixão

Os lixões são áreas destinadas a simples disposição dos resíduos no solo, sem medidas de proteção à saúde pública e ao meio ambiente.

Esse método contribui para a geração de doenças, maus odores, poluição das águas (chorume), ar e solo, entre outros.

Em comparação aos outros métodos de destinação, apresenta grandes desvantagens, pois não possibilita o controle dos resíduos que são encaminhados para o local de disposição.

18.4.4 Reciclagem

A reciclagem transforma o lixo em matéria prima, que é reaproveitada para a produção de novos produtos, que podem ser ou não semelhantes ao inicial. Logo, ela visa o aproveitamento dos detritos, reutilizando-os no clico de produção de que saíram, através do beneficiamento do resíduo.

Uma diversidade de materiais pode ser reciclada e os exemplos mais comuns são papel, metal, vidro e plástico.

Dentre as vantagens da reciclagem, pode-se citar: a minimização do uso de recursos naturais, minimização da quantidade de resíduos que necessitam de tratamento; menor poluição do ar, da água e do solo; geração de renda através da comercialização dos recicláveis; contribuição para o desenvolvimento sustentável do planeta, entre outros.

A reciclagem pode ser vista como uma maneira de reintroduzir no sistema uma parte da matéria e da energia que se tornariam lixo. A Fig. 18.6 apresenta o ciclo da reciclagem.

Figura 18.6 – Ciclo da reciclagem [7]

18.4.5 Compostagem

A compostagem é o processo de transformação do lixo em fertilizante. Um composto orgânico é formado a partir de um processo biológico de decomposição e de reciclagem da matéria orgânica contido em restos de origem animal ou vegetal. Esse composto, aplicado ao solo, melhora suas características e atua como um fertilizante, obtendo uma terra fértil e rica em minerais, sem causar danos ao meio ambiente.

Os produtos da compostagem são úteis pois:

- Devolvem à terra os nutrientes de que ela necessita;
- Aumentam a capacidade de retenção de água do solo;
- Permitem o controle da erosão;
- Evitam o uso de fertilizantes sintéticos.

A Fig. 18.7 mostra o ciclo da matéria orgânica, evidenciando a importância da compostagem, que nada mais é do que a reciclagem do lixo orgânico.

Figura 18.7 – Ciclo da matéria orgânica [8]

18.4.6 Aterro

O objetivo do aterro é confinar resíduos sólidos à menor área e volume possíveis no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

18.4.6.1 Aterro controlado

O aterro controlado é uma técnica que promove melhorias em um local de disposição inadequada de resíduos (lixão), com o objetivo de minimizar os impactos ambientais. É um método de destinação final do lixo inferior ao aterro sanitário, pois não previne o risco de poluição.

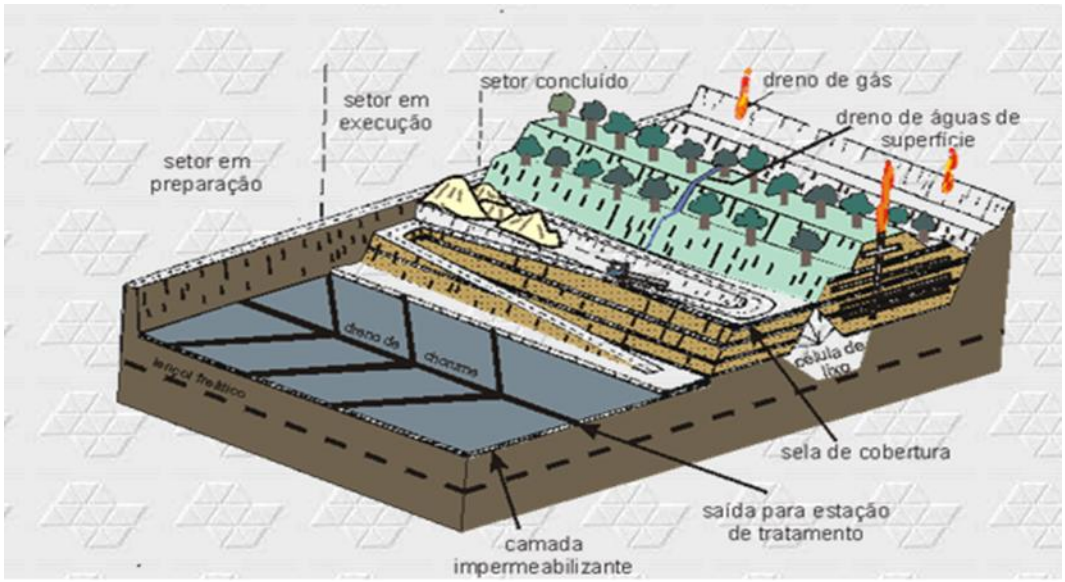
Entre as ações adotadas estão: o recobrimento diário dos resíduos com argila, drenagem das águas pluviais e compactação do solo que receberá o resíduo.

18.4.6.2 Aterro sanitário

A área do aterro é preparada por meio de impermeabilização, do nivelamento do terreno, de obras de drenagem para captação do chorume para conduzi-lo ao tratamento e de vias de circulação, além de obras de drenagem de águas pluviais.

Os resíduos precisam ser separados e depositados de acordo com as suas características. Os gases produzidos no processo de decomposição do resíduo devem ser queimados e o chorume deve ser captado. Também faz-se necessário um sistema de monitoramento, que atue de forma contínua, evitando que qualquer problema ocorra. A Fig. 18.8 mostra como um aterro sanitário deve ser.

Figura 18.8 – Aterro sanitário [9]

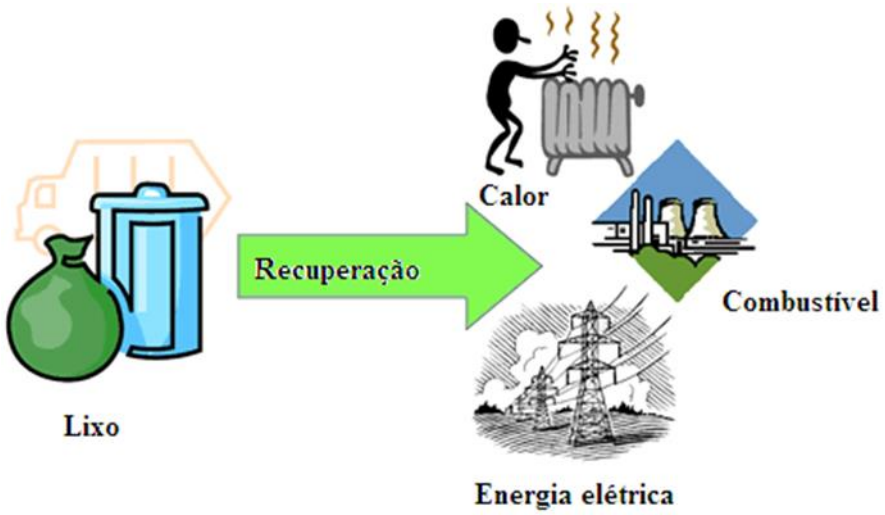


18.4.7 Geração de energia

Os resíduos sólidos urbanos estão sendo gerados continuamente, logo são uma fonte inesgotável de energia. A energia gerada nas usinas térmicas tem impacto ambiental positivo, já que a outra alternativa seria o aterro, que polui mais.

O resíduo pode ser transformado em calor, combustível ou energia elétrica, como mostra a Fig.18.9.

Figura 18.9 – Recuperação do lixo para produção de energia [10]



Estimativas realizadas apontam para um potencial de geração de energia a partir de resíduos urbanos, para o Brasil, da ordem de 16 GW (utilizando o processo de incineração) ou 5,8 GW (pela digestão anaeróbia em aterros). [11]

Podemos destacar como vantagens da geração de energia através do lixo:

- Benefícios estratégicos, uma vez que essa ação pode contribuir como fonte alternativa de energia;
- Benefícios ambientais, pois colabora com organização dos aterros e a mitigação de gases de efeito estufa;
- Benefícios socioeconômicos, devido ao desenvolvimento de tecnologia nacional com o uso de equipamento e insumos nacionais e, sobretudo;
- Emprego de mão-de-obra qualificada e não qualificada nas várias etapas do processo de recuperação energética. [11]

Há várias formas de converter o resíduo em energia. A Tab. 18.2 compara a produção de energia por tonelada de RSU para algumas tecnologias utilizadas nesse processo.

Tabela 18.2 – Aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) [5]

Aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos	
Biogás de aterro (base metano)	0,1-0,2 MWh/ton RSU
Digestão anaeróbica acelerada	0,1-0,3 MWh/ton RSU
Incineração RSU com Geração de Energia	0,4-0,6 MWh/ton RSU
Ciclo combinado RSU – Gás Natural	0,8-0,9 MWh/ton RSU

Os investimentos para geração de energia através do biogás proveniente de RSU podem se mostrar viáveis economicamente, devido à receita gerada pela venda da energia elétrica e pela comercialização de créditos de carbono.

A Tab. 18.3 mostra um comparativo entre os custos de diferentes tipologias de geração de energia elétrica renovável.

Tabela 18.3 – Comparativo de custos de implantação por tipologia [67]

Tipologia Energética	R$ / MW
Usinas de biomassa tradicional (principalmente bagaço)	144
Pequena central hidrelétrica (PCH)	142
Usinas eólicas	131
Energia solar (painéis de fotocélula)	500
Biogás de vazadouros a céu aberto (lixões)	381
Biogás de aterros sanitários	284
Biogás (média entre lixões e aterros sanitários)	323

18.4.8 Questão legal

Os municípios, a quem compete prestar o serviço de limpeza urbana e a coleta de resíduos, podem:

- Utilizar esses resíduos, explorando-os diretamente, para produção de energia usando o biogás gerado;

- Ou, por processo de licitação, terceirizar tal atividade, concedendo a outros o direito de utilizar os resíduos sólidos urbanos. É importante observar que o munícipio pode apenas conceder o direito à exploração dos resíduos, já que a concessão, autorização ou permissão dos serviços de eletricidade compete à União.

Assim, tanto o município quanto o terceiro, podem organizar-se como autoprodutor ou como produtor independente. Como autoprodutor, a energia é usada para suprir as próprias necessidades de consumo e eventualmente comercializar o excedente. Como produtor indepedente, a energia gerada é destinada a venda, seja no Ambiente de Contratação Regulada, seja no Ambiente de Contratação Livre.

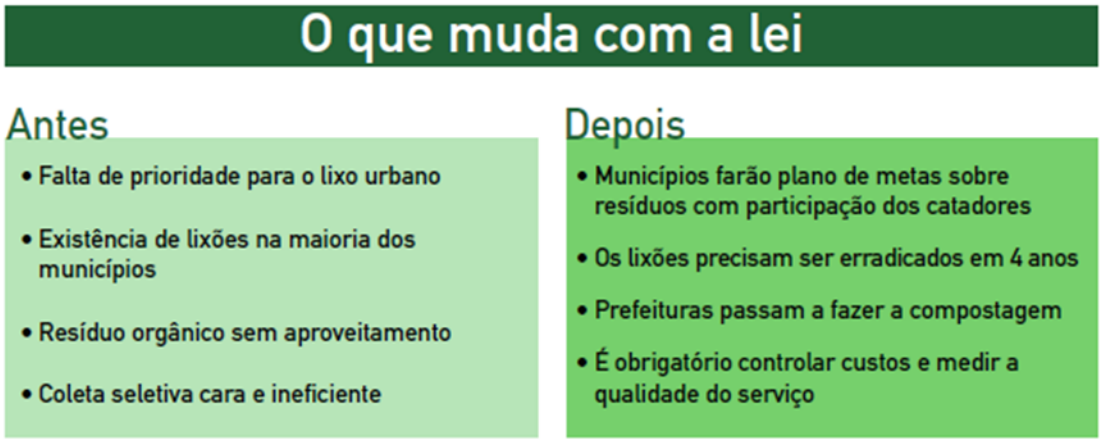
18.4.8.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos [12]

A lei da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) foi promulgada em 2 de agosto de 2010 e visa promover mudanças no cenário de resíduos no país.

A PNRS tem como principio a responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e população e tem como bases técnicas a coleta seletiva, a reciclagem e a logística reversa.

A Fig. 18.10 mostra o que mudou com a nova lei.

Figura 18.10 – O que muda com a Política Nacional de Resíduos Sólidos [12]



Assim, a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos incentiva a: (i) adaptação de aterros sanitários em usinas geradoras de energia elétrica; e (ii) promoção de significativas melhorias ambientais em vazadouros a céu aberto (lixões) via implementação de projetos de créditos de carbono.

A PNRS também estabelece a diferença entre resíduo e rejeito. Os resíduos devem ser reaproveitados, enquanto somente os rejeitos devem ter disposição final.

Com a lei, foi instituída uma ordem de prioridade para a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, listada abaixo, que deixa de ser voluntária e passa a ser obrigatória.

1. Não geração;

2. Redução;

3. Reutilização;

4. Reciclagem;

5. Tratamento dos resíduos sólidos;

6. Disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Uma alternativa é a recuperação energética dos resíduos com o uso de tecnologias, desde que a viabilidade técnica e econômica do empreendimento tenha sido comprovada e que um programa de monitoramento de gases tóxicos seja implantado.

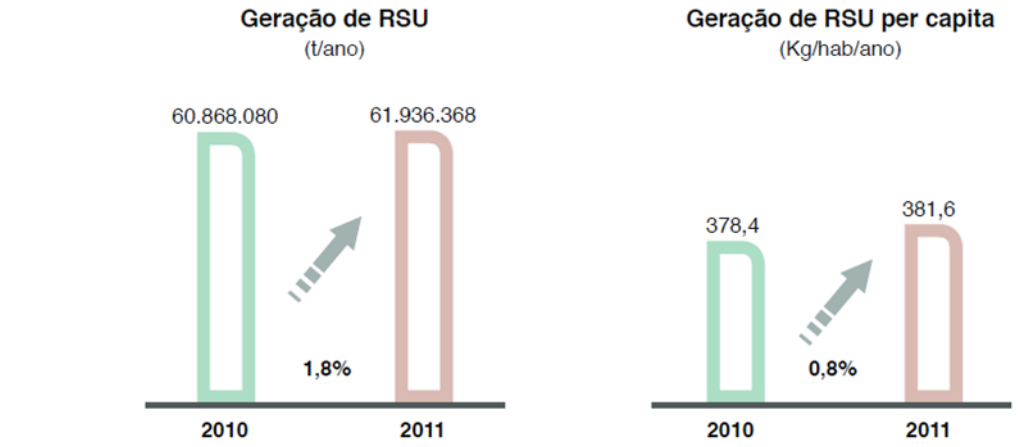
O decreto destaca a importância da geração de energia a partir dos resíduos gerados pelas cadeias produtivas de origem animal e vegetal, além de fomentar o uso de tais fontes renováveis.

18.4.9 Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil [13]

A geração de RSU no ano de 2011 foi de 61.936.368 toneladas. Esse número representa um aumento de 1,8% em relação ao ano anterior, índice percentual superior à taxa de crescimento populacional urbano do país, que foi de 0,9%.

Na Fig. 18.11 é possível ver uma gráfico com a geração de RSU no Brasil e a geração per capita.

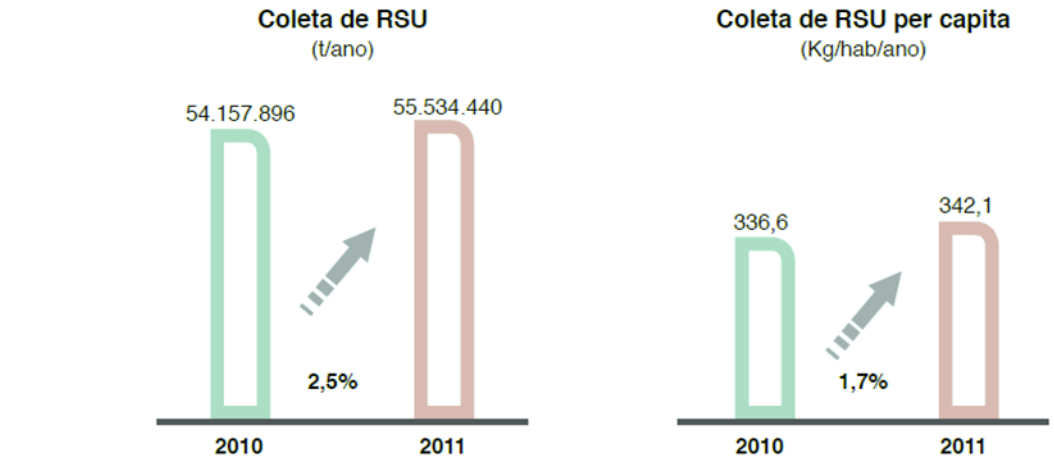
Figura 18.11 – Geração de RSU [13]



Fontes: Pesquisas ABRELPE 2010 e 2011 e IBGE 2010 e 2011

Quanto ao RSU coletado, percebe-se uma ampliação dos serviços de coleta no país, pois enquanto o índice de crescimento de geração foi de 1,8%, o índice de crescimento de coleta foi um pouco maior, representando 2,5%, como mostrado na Fig. 18.12.

Figura 18.12 – Coleta de RSU [13]



Fontes: Pesquisas ABRELPE 2010 e 2011 e IBGE 2010 e 2011

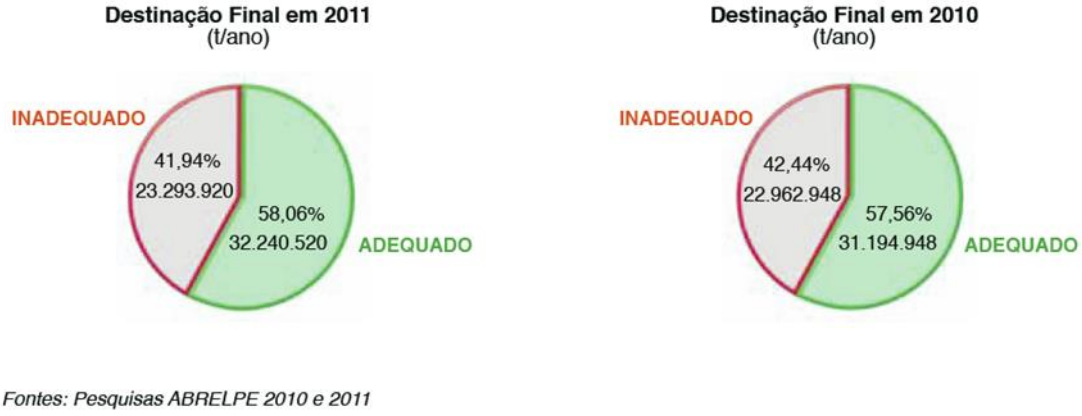
A Tab. 18.4 mostra a porcentagem de participação dos principais materiais constituintes do lixo no país. Nota-se que a matéria orgânica representa mais da metade da composição dos resíduos.

Tabela 18.4 – Participação dos principais constituintes do lixo no Brasil [13]

Material	Participação (%)	Quantidade (t/ano)
Metais	2,9	1.610.499
Papel, Papelão e TetraPak	13,1	7.275.012
Plástico	13,5	7.497.149
Vidro	2,4	1.332.827
Matéria Orgânica	51,4	28.544.702
Outros	16,7	9.274.251
Total	100,0	55.534.440

Considerando-se a destinação final dos dejetos, de acordo com uma visão ambientalmente adequada, em termos percentuais, em 2011 houve uma pequena evolução. Já quando a comparação é feita em termos quantitativos, a destinação inadequada cresceu 1,4%.

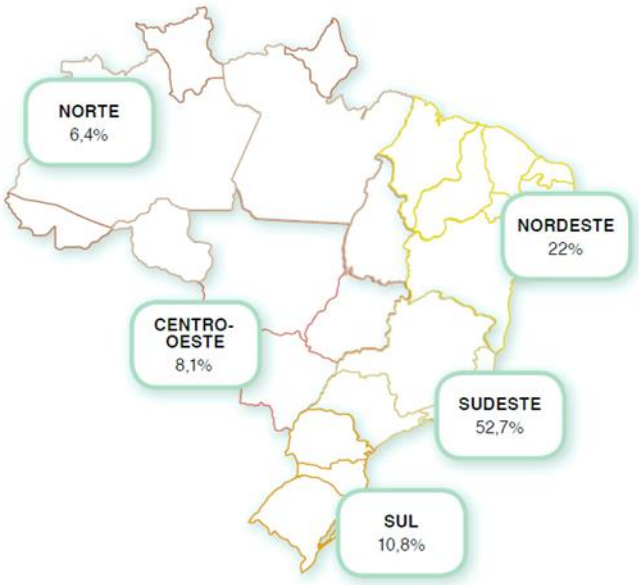
Figura 18.13 – Destinação final do RSU [13]



Fontes: Pesquisas ABRELPE 2010 e 2011

O mapa da Fig.18.14 mostra que a região sudeste é responsável por 52,7% do total de RSU coletado no país, enquanto a região nordeste corresponde a somente 6,4%.

Figura 18.14 – Participação das regiões do país no total de RSU coletado [13]

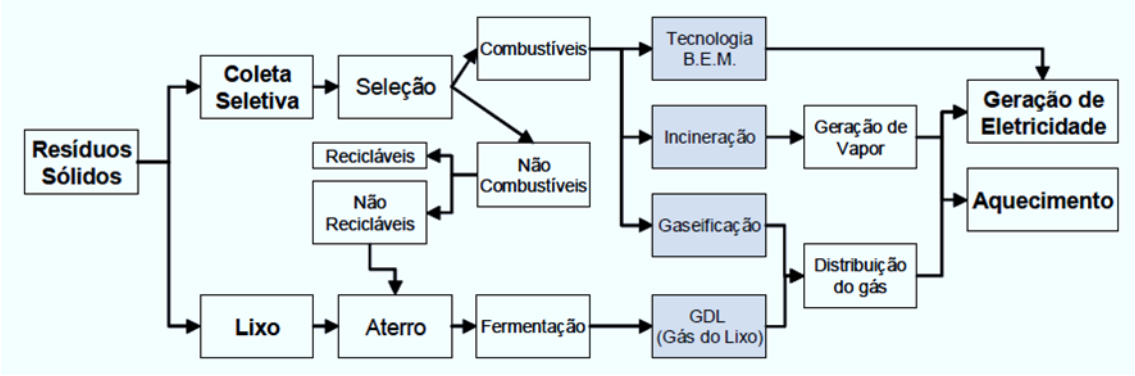


Fonte: Pesquisas ABRELPE 2011

18.4.10 Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos

O esquema da Fig. 18.15 mostra os quatro principais métodos de geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos, os quais são abordados a seguir.

Figura 18.15 – Formas de geração de energia através do lixo [70]

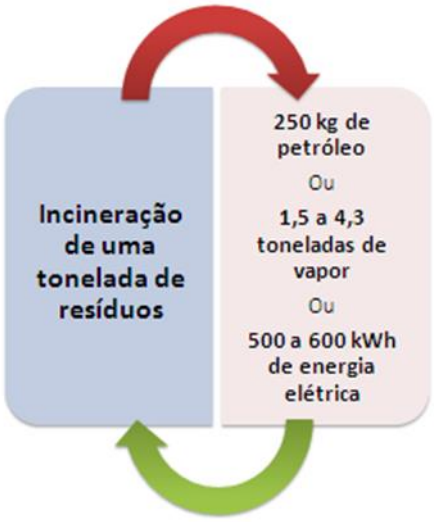


18.4.10.1 Incineração

A incineração é definida como um processo de redução de peso e volume do lixo através da combustão controlada. São empregadas altas temperaturas nos fornos para a queima dos resíduos, que entram em combustão.

A Fig. 18.16 apresenta uma comparação da incineração com outras fontes tradicionais de energia.

Figura 18.16 – Incineração e outras formas de energia



Dois princípios básicos devem ser seguidos, tendo em vista o rendimento da incineração do lixo:

a) Regular a quantidade de ar de modo que seja mantida a mistura ar-combustível nos níveis normais exigidos no projeto.

b) Transferir o máximo de calor gerado na combustão para o material a ser incinerado.

A incineração divide-se em dois estágios. O processo se inicia na câmara primária, onde o lixo é depositado diretamente para que ocorra sua queima. A queima é realizada a altas temperaturas (entre 500 °C e 900 °C) e parte do material passa para o estado gasoso, enquanto a outra parte se transforma em pequenas partículas. A fim de evitar-se gradientes elevados de temperatura, a alimentação de oxigênio é sub-estequiométrica.

Assim, utilizando condições controladas, evita-se a volatização de metais presentes no lixo e minimiza-se a formação de óxidos nitrosos.

Para a câmara secundária são enviadas a parte gasosa e as partículas geradas na câmara primária. Para que ocorra a combustão completa, essa mistura é queimada a temperaturas mais altas e pelo intervalo de tempo necessário.

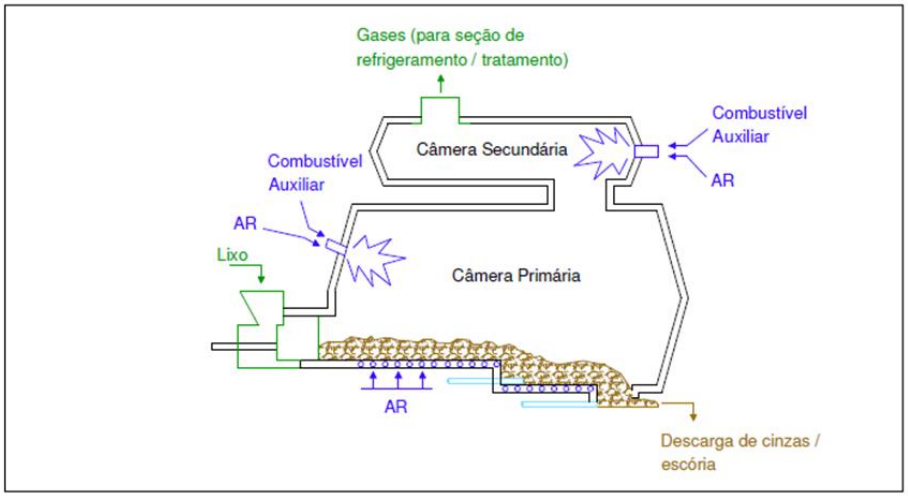
O tempo de residência representativo para resíduos sólidos é de 30 minutos no primeiro estágio e de 2 a 3 segundos no segundo estágio. A temperatura varia entre 750 °C a 1250 °C e há excesso de oxigênio, logo a atmosfera é altamente oxidante.

Os gases gerados na câmara primária são oxidados a dióxido de carbono e água e, devido as altas temperaturas, a presença de dioxinas e furanos é praticamente nula.

Depois dessa etapa, os gases passam por um sistema de tratamento, que consiste em muitos estágios com a finalidade de abatimento da poluição gerada, e finalmente são lançados via chaminé para a atmosfera.

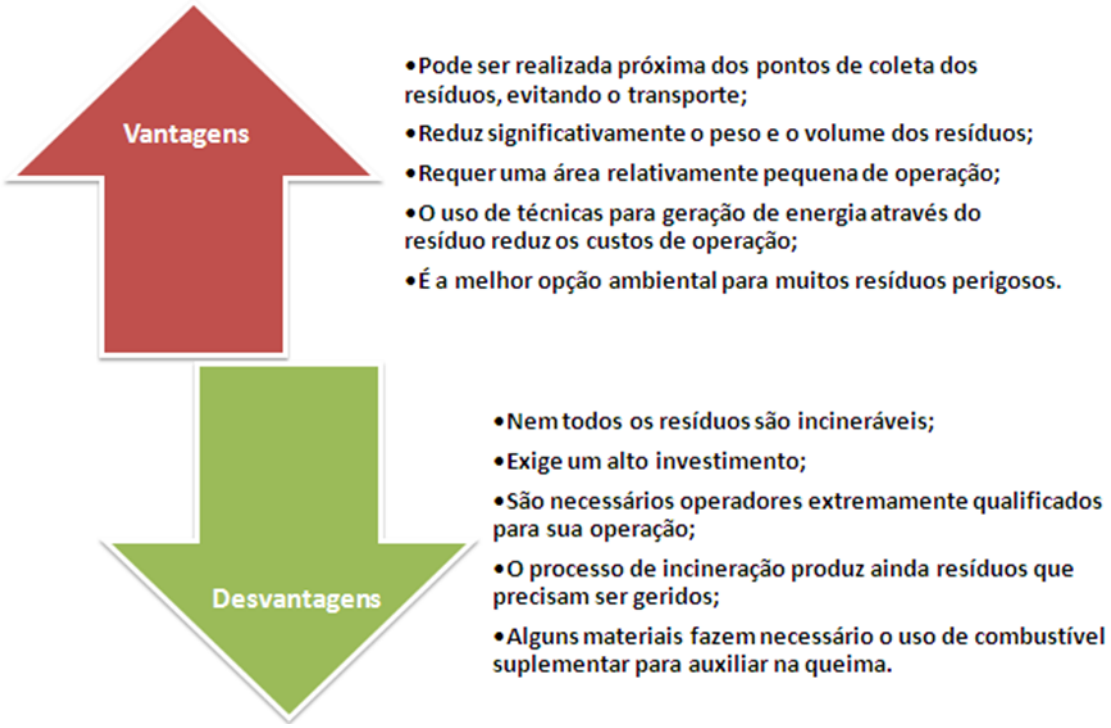
Como pode-se observar na Fig. 18.17, ar é injetado nas duas câmaras e, se necessário, um combustível auxiliar. As cinzas ficam depositadas na primeira câmara, de onde são retiradas. [14]

Figura 18.17 – Funcionamento de um incinerador de RSU [14]



As vantagens e as desvantagens da incineração são mostradas na Fig.18.18.

Figura 18.18 – Vantagens e desvantagens da incineração



18.4.10.2 Gaseificação

Na gaseificação, um combustível sofre oxidação parcial para produzir um gás. Calor é fornecido para que a desintegração das cadeias poliméricas do material do lixo ocorra, formando gases mais simples, como metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrogênio, que podem ser aproveitados para diversas finalidades.

O gás pode ser utilizado como fonte de energia ou como matéria-prima para a fabricação de produtos químicos. Assim, ele pode servir de combustível em motores de combustão interna ou em turbinas, para aquecimento ou para distribuição em gasodutos, por exemplo.

18.4.10.2.1 O processo

Primeiramente, os resíduos são colocados em um reservatório com pressão negativa, com o objetivo de reduzir a emissão de odores. Esses reservatórios tem um sistema de drenagem que coleta os líquidos e os envia a uma ETE - Estação de Tratamento de Efluentes.

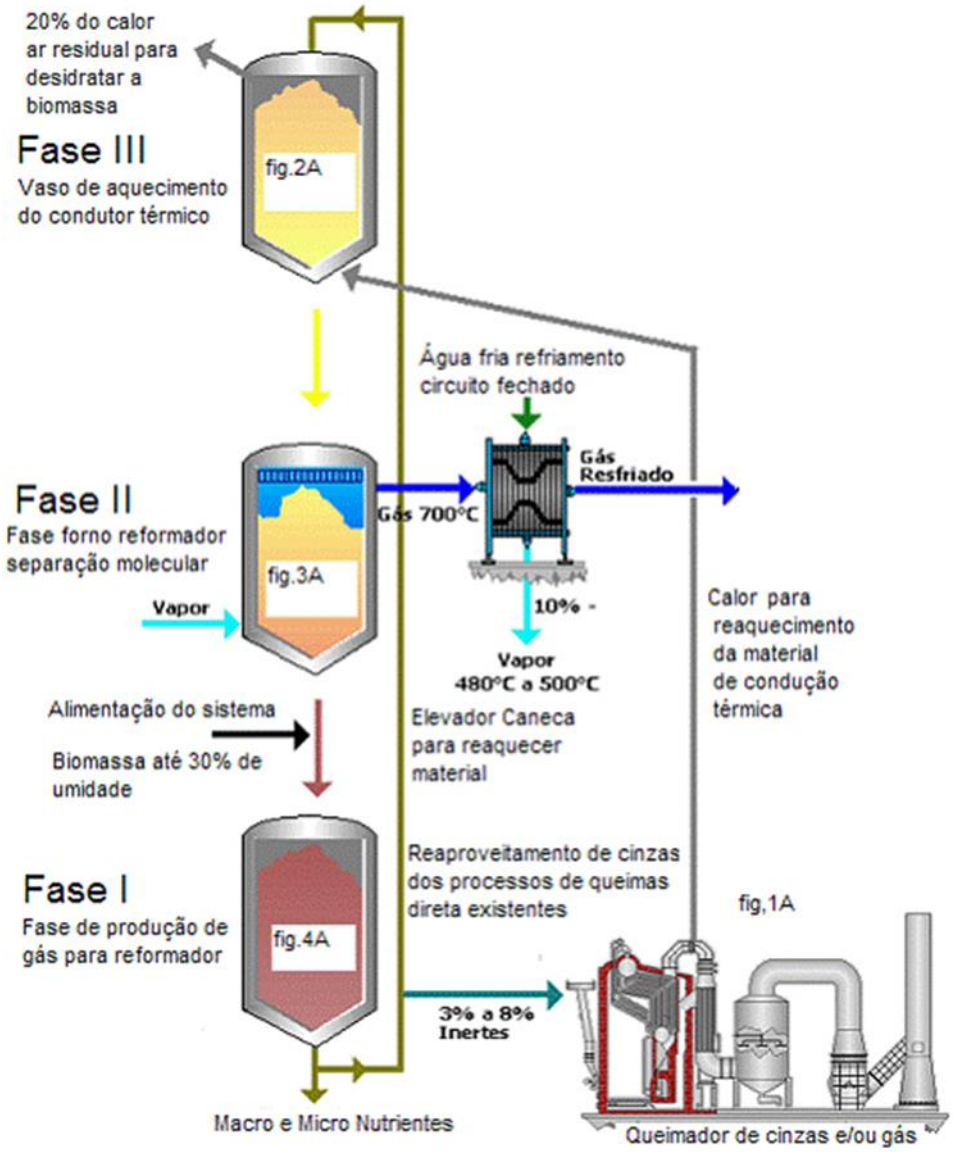
Para garantir que sobras de metais não passem pelo picador, o rejeito da etapa de reciclagem passa por uma esteira magnética, que leva o material para o forno de secagem. Do forno de secagem o material sai picado e com baixa umidade e vai para os acumuladores, para somente então entrar no gaseificador.

A biomassa é primeiramente pirolisada. Esse processo ocorre entre 450 °C e 500 °C, transformando as moléculas em gás e resíduo. Cerca de 80% do material se transforma em gás.

Os gases formados são misturados a vapores e reagem com esses a altas temperaturas (quase um mil grau), resultando no produto final.

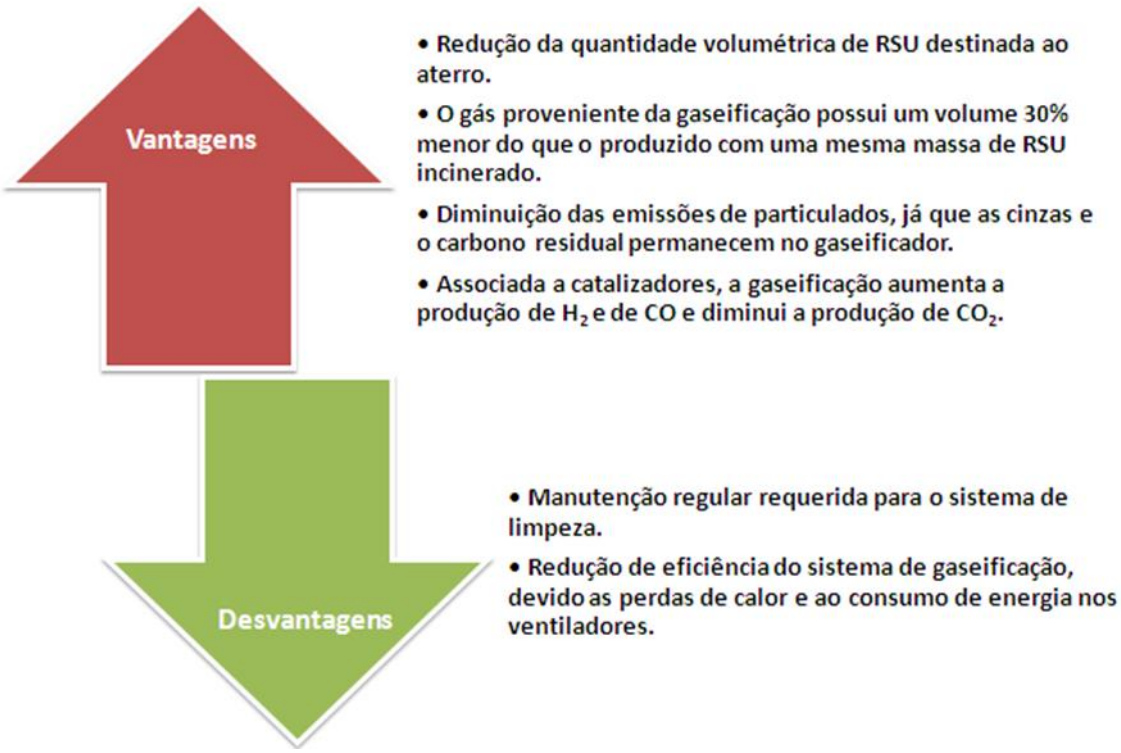
Um esquema do processo pode ser visto na Fig. 18.19.

Figura 18.19 – Fluxograma do processo de gaseificação [6]



A Fig. 18.20 apresenta as vantagens e desvantagens da gaseificação.

Figura 18.20 – Vantagens e desvantagens da gaseificação.



18.4.10.3 Utilização do Gás do Lixo (GDL)

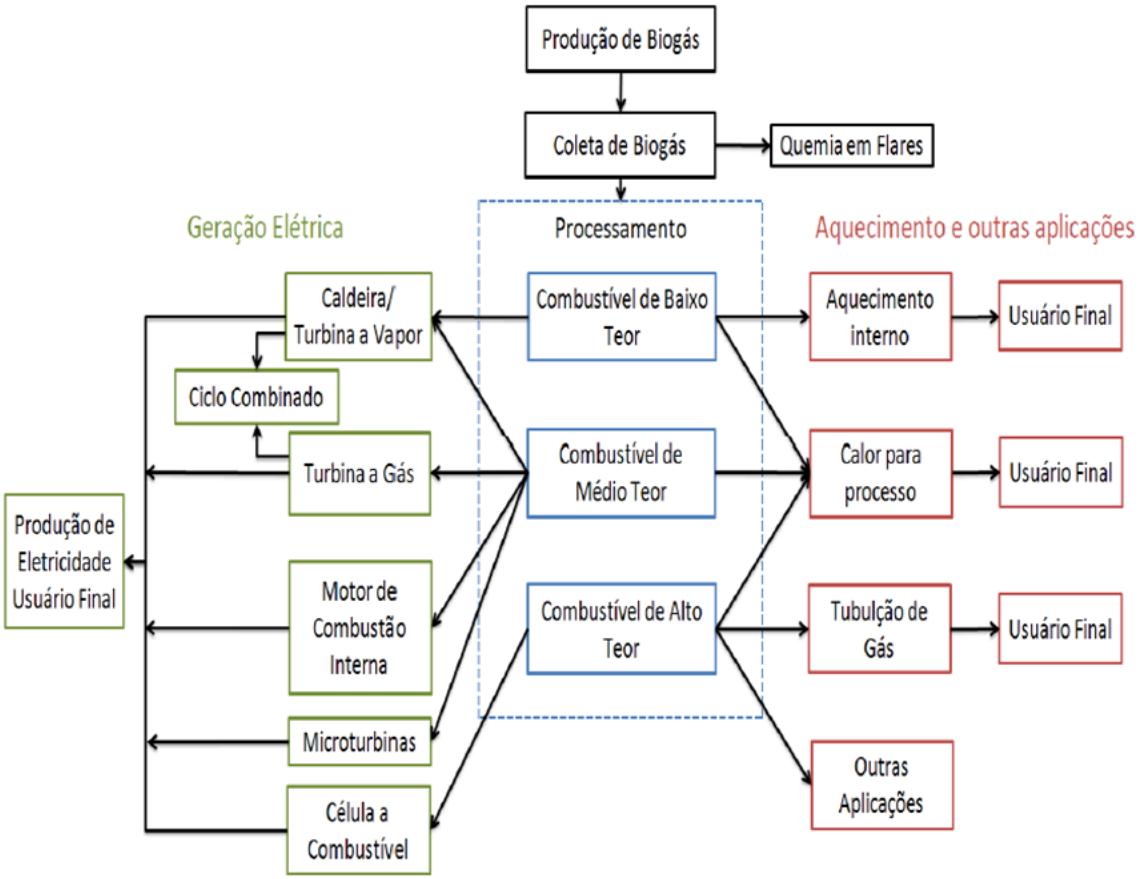
Essa tecnologia visa resgatar os gases oriundos da disposição de resíduos em aterros ou lixões e aproveitá-los para outros fins, o que evita sua emissão descontrolada para a atmosfera. A utilização do gás do lixo é o uso energético mais simples e mais utilizado do RSU.

O GDL é resultado de processos físicos, químicos e microbiológicos que ocorrem dentro da massa de resíduos. Nos aterros, os resíduos são colocados e compactados a uma densidade específica, iniciando uma decomposição anaeróbica que dá origem ao gás de lixo. As camadas geralmente se tornam estratificadas e tendo começo a atividade microbiana, a produção de GLD se inicia.

O gás contém aproximadamente 50% de metano, 45% de CO2, 3% de nitrogênio, 1% de oxigênio e 1% de outros gases.13 O metano é um combustível com elevado poder calorífico e pode ser utilizado para propósitos energéticos. Quando ele se origina da biomassa, como no caso do lixo, está presente em uma mistura chamada biogás.

A Fig.18.21 mostra os possíveis usos do biogás em relação ao nível de processamento requerido.

Figura 18.21 – Possíveis usos do biogás em relação ao nível de processamento requerido [16]



A capacidade do aterro produzir gás depende de diversos fatores, tais como:

- Composição e idade do resíduo;
- Composição química;
- Umidade;
- Tamanho das partículas;
- pH;
- Temperatura, entre outros.

A Fig. 18.22 mostra um esquema de aproveitamento do gás de lixo para geração de energia.

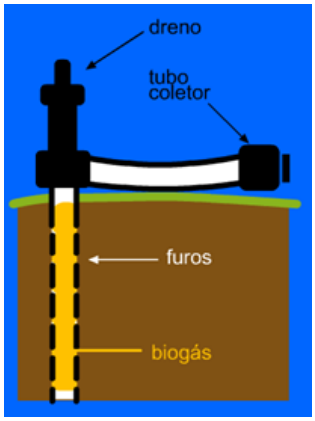
Figura 18.22 – Etapas do aproveitamento do GDL [17]

18.4.10.3.1 Sistema de extração e coleta

A coleta do gás é feita através de uma rede de drenagem, que impede que o gás escape pelos meios porosos que compõe o maciço do aterro.

Uma camada de brita envolve uma coluna de tubos perfurados de concreto. Os drenos levam o biogás do lixo até a superfície (processo vertical de extração do gás do subsolo). Tubos de polietileno de alta densidade saem da ponte de cada dreno e levam o biogás até a usina, formando uma rede. A Fig. 18.23 ilustra esse sistema.

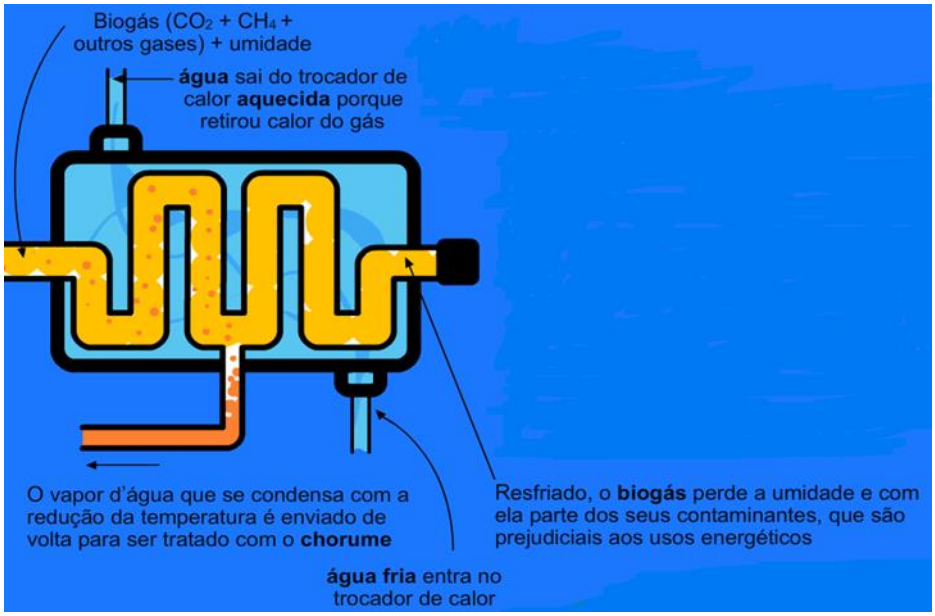
Figura 18.23 – Sistema de extração e coleta de GDL [17]



18.4.10.3.2 Beneficiamento

O gás é resfriado e, por meio de um processo de condensação, é separado dos vapores de chorume que o acompanham, originados da decomposição de resíduos orgânicos, como mostra a Fig. 18.24. O metano segue para a etapa de combustão.

Figura 18.24 – Beneficiamento do GDL [17]



18.4.10.3.3 Geração de energia

A geração de biogás na usina permanece por até 30 anos, enquanto o aproveitamento para geração de energia elétrica dura por 15 anos. Depois disso, a usina deve ser desmontada e retirada do local do aterro. O aterro deve passar por um isolamento físico ou por algum controle de ocupação.

18.4.10.4 Tecnologia BEM

A sigla BEM significa Biomassa-Energia-Materiais. A tecnologia BEM consiste na formação de celulignina catalítica através do aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos. A patente dessa tecnologia é de origem brasileira, do Grupo Peixoto de Castro, do interior de São Paulo.

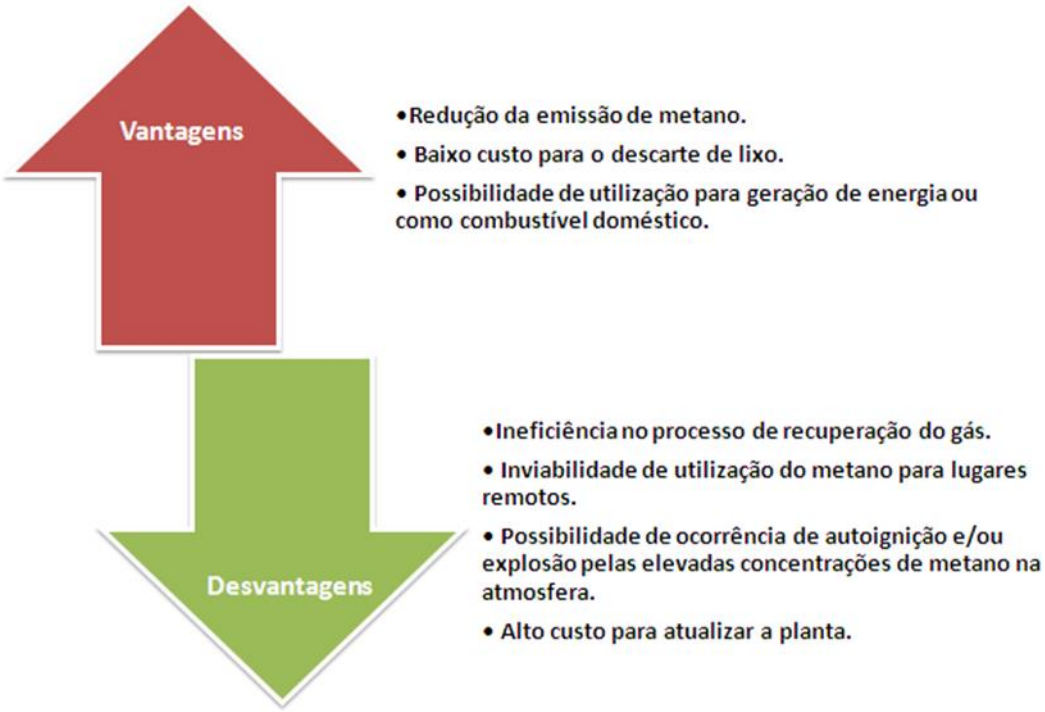
Utilizando reatores de aço carbono revestido com metais refratários, a biomassa pode ser transformada, além de celulignina, em pré-hidrolisado, que é uma solução de açúcares usada em produtos químicos.

O processo consiste em picar e compactar a biomassa presente nos resíduos sólidos e depois compactá-los no silo. A biomassa é então comprimida dentro de um reator por meio de uma rosca helicoidal.

A energia gasta na produção de celulignina equivale a 6,3% da energia contida na celulignina produzida.

A Fig. 18.25 mostra as vantagens e desvantagens da Tecnologia BEM.

Figura 18.25 – Vantagens e desvantagens da Tecnologia BEM [18]



18.4.10.5 Digestão anaeróbica acelerada

O processo consiste basicamente em simular, dentro de um reator, a decomposição que acontece em aterros sanitários. Assim, o processo ocorre de forma semelhante ao ocorrido no aterro, só que em um ambiente controlado e em um período de tempo menor.

A matéria orgânica complexa é convertida em metano, através da ação de diversos grupos de microrganismos, gerando também gás carbônico, amônia, água, gás sulfídrico e novas células bacterianas.

No Brasil, tem-se utilizado o processo nas usinas sucroalcooleiras.

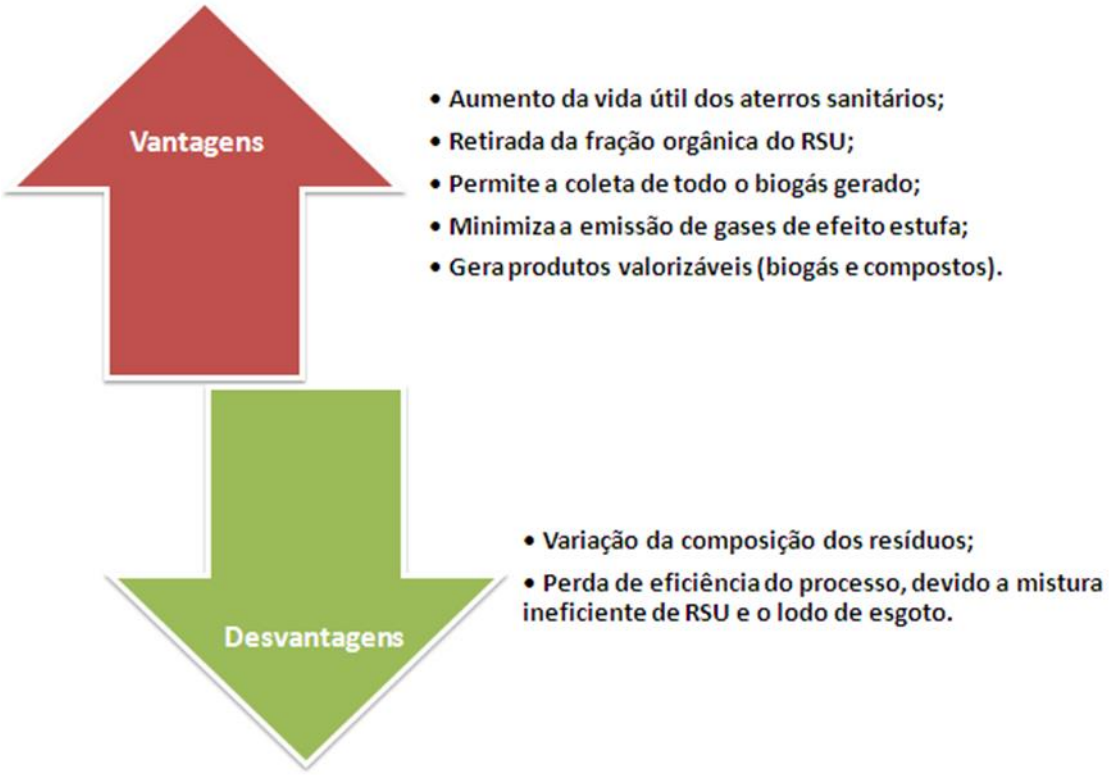
A digestão anaeróbica acelerada se divide em quatro etapas:

- Hidrólise;
- Acidogênese;
- Acetogênese;
- Metanogênese.

Normalmente, de 100 a 200 m³ de biogás são produzidos por tonelada de resíduo sólido digerido. Os sistemas de digestão anaeróbica com maior produção de biogás são os de estágio simples com alto teor de sólidos, entre eles podemos citar o DRANCO (100-150 m³ de biogás/t de resíduos) e o Valorga (220-250 m³ de biogás/t de resíduos).[18]

A Fig. 18.26 mostra as vantagens e desvantagens da digestão anaeróbia acelerada.

Figura 18.26 – Vantagens e desvantagens da digestão anaeróbia acelerada [18]



18.5 Resíduos da Pecuária

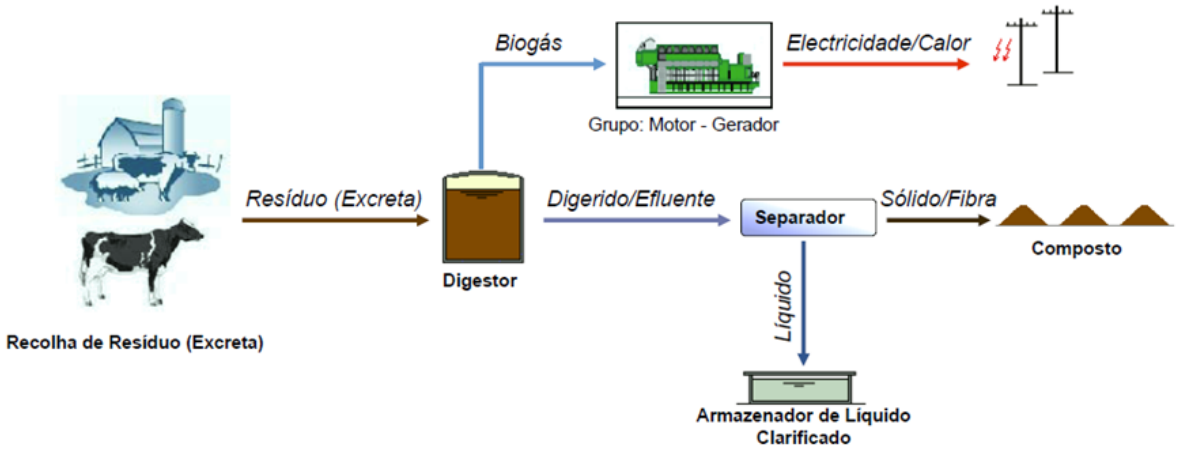
18.5.1 Introdução

O Brasil é um dos principais produtores de carne do mundo e conta com imensos rebanhos. Estima-se que sejam produzidos no país em torno de 900 milhões de toneladas de resíduos por ano, sendo 180 milhões de estercos de animais. O potencial energético, considerando apenas os esgotos produzidos por esses animais, é da ordem de 1 terawatt/hora/mês, quantidade de energia suficiente para abastecer uma cidade com 4,5 milhões de habitantes [19].

De acordo com um estudo, o uso do biogás, produzido a partir dos dejetos animais, por meio de geradores, permitiria o sequestro de 71,3 milhões de toneladas de carbono. Considerando 9,4 euros como o valor da tonelada de carbono sequestrado, o tratamento ambiental dos dejetos acrescentaria 651 milhões de euros à renda dos produtores rurais no Brasil [19].

A Fig. 18.27 mostra as técnicas de valorização energética dos resíduos derivados das instalações pecuárias.

Figura 18.27 – Técnicas de valorização energética dos resíduos derivados das instalações pecuárias [20]



A Tab. 18.5 apresenta a produção diária de dejetos por animal no Brasil. Nota-se que bovinos e suínos são os animais com maior média de produção de dejetos, enquanto os aviários tem uma produção mínima.

Tabela 18.5 – Produção diária de dejetos por animal [21]

Tipo de animal	Média de produção de dejetos (em kg por dia)
Bovinos	10,00
Suínos	2,25
Aviários	0,18
Equinos	10,00

Já na Tab. 18.6 é possível ver a expectativa de produção de biogás de acordo com a origem do dejeto utilizado e na Tab. 7 uma comparação do biogás com outras fontes energéticas.

Tabela 18.6 – Expectativa de produção de biogás por biomassa [21]

Biomassa utilizada (dejetos)	Produção de biogás (a partir de material seco em m^3 /t)	Percentual de gás metano produzido
Bovinos	270	55%
Suínos	560	50%
Equinos	260	Variável
Ovinos	250	50%
Aves	285	Variável

Tabela 18.7 – Comparação do biogás com outras fontes energéticas [2]

Fontes energéticas	1m³ de biogás equivale a
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,576 litros
Óleo diesel	0,533 litros
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	0,454 litros
Lenha	1,536 kg
Álcool hidratado	0,790 litros
Eletricidade	1,428 kW

O manejo inadequado desses resíduos pode acarretar na contaminação da água e do solo, além de servir como um vetor de doenças. Pode-se citar como consequências da falta de tratamento dos dejetos:

- Queima das plantas;
- Poluição ambiental;
- Sequestro de nitrogênio para decomposição da celulose (presente em grande quantidade no esterco), causando deficiência nas plantas;
- Disseminação de sementes de plantas daninhas;
- Disseminação de microrganismos patogênicos. [22]

18.5.2 Tratamento dos resíduos pecuários

O sistema de remoção de dejetos da pecuária pode ser manual, mecânico, hidráulico ou fossos sob grelhas.

Os fluxos de produção e processamento dos dejetos podem ser vistos na Fig. 18.28. Os dejetos podem ser tratados de três diferentes formas: química, física e bioquímica.

Figura 18.28 – Diferentes tratamentos dos dejetos [23]

O tratamento dos resíduos animais é uma alternativa viável, que diminui a capacidade poluidora das fezes, além de diminuir o volume diário gerado.

As técnicas de tratamento físico englobam:

- Separação de fases;
- Decantação;
- Peneiramento;
- Centrifugação;
- Desidratação.

As técnicas de tratamento químico se baseiam na adição de produtos químicos a fim de precipitar partículas e material coloidal, reduzindo a demanda bioquímica de oxigênio. Esses produtos podem agir de três formas diferentes:

- Bloquear as fermentações indesejáveis;

- Seleção bacteriana com orientação específica de fermentação;
- Sobreposição de odores.

Já as técnicas de tratamento bioquímico envolvem:

- Compostagem;
- Lagoas de estabilização: facultativas ou aeradas;
- Diques de oxidação;
- Lagoas anaeróbias;
- Digestores anaeróbios.

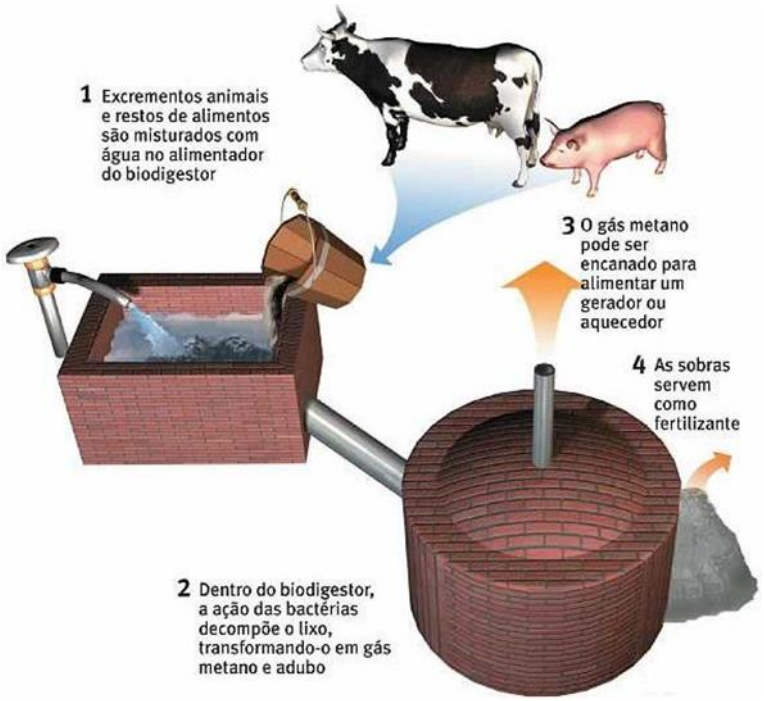
18.5.3 Produção de energia a partir de dejetos animais

A quantidade de metano obtida a partir do dejeto animal é determinada pelos seguintes fatores:

- Quantidade de dejeto (esterco);
- Características do dejeto (% de sólidos voláteis);
- Biodegradabilidade;
- Práticas de manejo (grau de condições anaeróbicas, conteúdo de água, etc.);
- Variáveis climáticas (temperatura, umidade, etc.). [24]

A Fig.18.29 explica a produção de gás metano a partir de dejetos animais com o uso de um biodigestor.

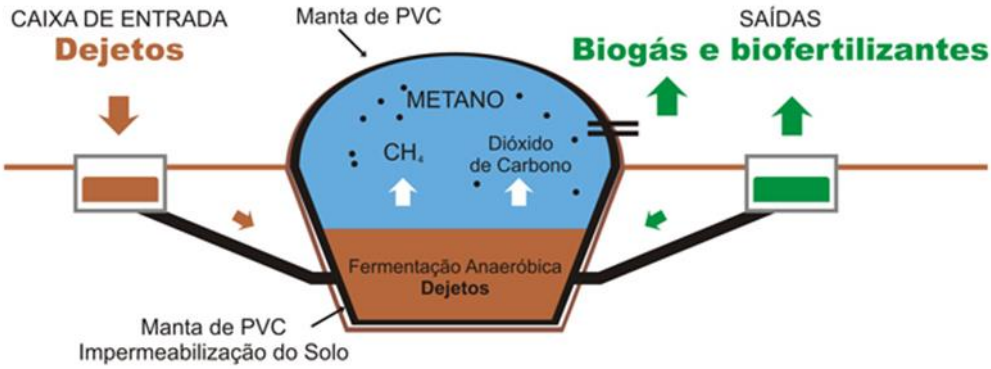
Figura 18.29 – Produção de gás metano a partir de dejetos animais [25]



18.5.3.1 Biodigestão

A biodigestão ou fermentação anaeróbica é um método de reciclagem da matéria orgânica, formando biogás ou biofertilizante. No biodigestor a matéria orgânica é fermentada e reduzida a gases e outros compostos, como mostra a Fig. 18.30.

Figura 18.30 – Biodigestor [26]



Para que essa conversão aconteça é necessário uma mistura de espécies bacterianas. A Fig. 18.31 mostra um fluxograma do processo de digestão anaeróbica que acontece no biodigestor.

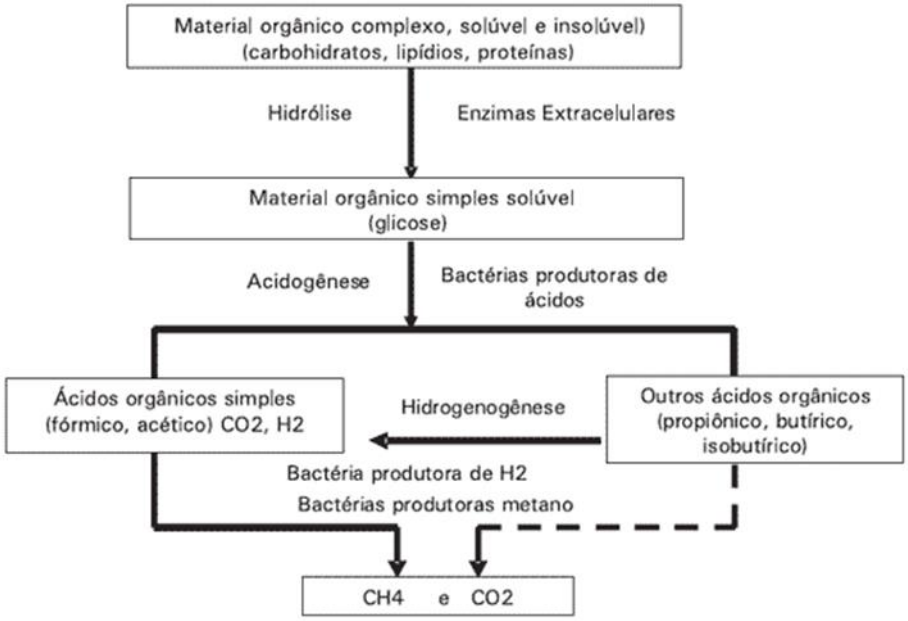
A digestão anaeróbica que ocorre no biodigestor pode ser dividida em três etapas:

- Hidrólise: As bactérias liberam enzimas extracelulares, promovendo a hidrólise dos componentes. Os produtos gerados, pequenas moléculas solúveis, como ácidos orgânicos voláteis, servem de substrato para as bactérias na próxima etapa.

- Acidogênese: A matéria que foi decomposta na fase anterior, é agora convertida em ácidos orgânicos e outras substâncias são formadas, como sais, dióxido de carbono, água e amônia.

- Hidrogenogênese: Na última fase da digestão, bactérias metanogênicas usam hidrogênio e dióxido de carbono e os transformam em metano, dando origem ao biogás. [27]

Figura 18.31 – Etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbica em biodigestor [28]



As condições necessárias para tornar o biodigestor um local favorável ao processo de fermentação são:

- Ausência de oxigênio;

- Temperatura adequada (entre 30°C e 45°C);

- Ausência de compostos químicos tóxicos (desinfetantes e sabões);

- Presença de matéria orgânica (dejetos).

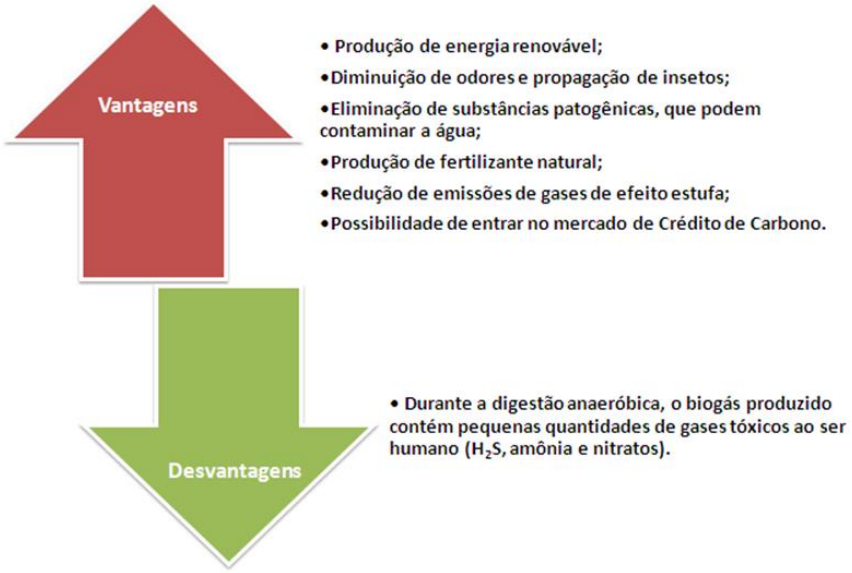
A energia elétrica gerada (geradores) a partir do biogás pode ser usado nas propriedades rurais para aquecimento de granjas, aquecimento de água, secagem de grãos, entre outros. Os resíduos líquidos podem ser usados como biofertilizantes.

A Fig. 18.32 mostra a quantidade necessária de dejetos de diferentes animais para a produção de 10 m³ de biogás.

Figura 18.32 – Dejetos animais e produção de biogás

A Fig. 18.33 mostra as vantagens e desvantagens do aproveitamento energéticos dos dejetos animais produzidos na pecuária.

Figura 18.33 – Vantagens e desvantagens do aproveitamento de dejetos animais para produção de energia



18.5.3.2 Biodigestores rurais

O biodigestor mostra-se um interessante investimento para as propriedades agrícolas, pois apresenta benefícios em três áreas distintas: saneamento, produção de fertilizante e energia. Esses benefícios estão apresentados na Fig. 18.34.

Figura 18.34 – Benefícios do biodigestor [19]

O biodigestor é um reservatório fechado, que busca criar as condições ideais para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e produção do biogás. Ele pode ser classificados de acordo com o seu fluxo de alimentação, que pode ser em batelada ou contínuo.

18.5.3.2.1 Biodigestor do tipo batelada

É um dos modelos mais simples de biodigestores, que requer baixa operacionalidade, recebendo apenas uma única vez a quantidade de resíduos a ser tratada. Assim, a produção de gás não é constante, já que a biomassa permanece no biodigestor até que a digestão anaeróbica esteja completa. Durante o ciclo, o biogás produzido é retirado e, ao seu fim, o biodigestor é aberto para remoção da biomassa, que pode ser utilizada como biofertilizante.

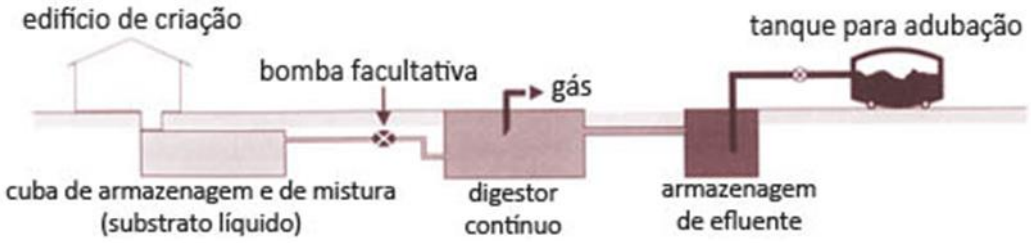
Como pode ser visto na Fig. 18.35, esse sistema é composto de uma única câmara de fermentação e por um gasômetro móvel.

Figura 18.35 – Biodigestor do tipo batelada [29]

18.5.3.2.2 Biodigestor do tipo contínuo

Nesse modelo, Fig. 18.36, a carga e a descarga da biomassa (os dejetos dos animais são diluídos em água) é realizada pelo principio de vasos comunicantes ou por meio de bombas hidráulicas. A adição de matéria orgânica é feita periodicamente, de forma que o substrato esteja em várias etapas do processo, o que acarreta uma produção constante de biogás e biofertizante.

Figura 18.36 – Biodigestor do tipo contínuo [29]



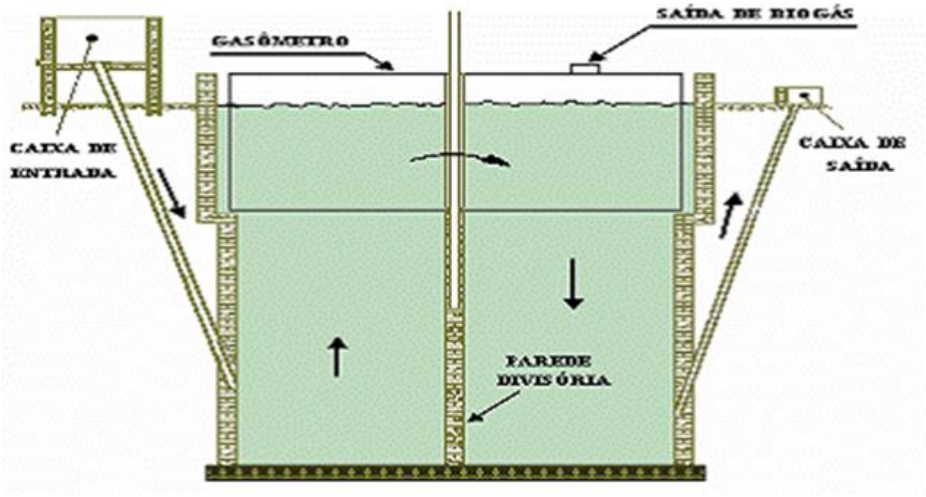
18.5.3.2.3 Biodigestor modelo indiano

O biodigestor modelo indiano opera a pressão constante. Assim, o gasômetro se desloca verticalmente, a medida que o volume de biogás produzido não é consumido, aumentando o volume do biodigestor a fim de manter a pressão constante no interior do mesmo. O abastecimento deve ser contínuo, ou seja, os dejetos tem que ser produzidos com certa regularidade, como ocorre com os suínos e bovinos, por exemplo.

A concentração de sólidos totais do resíduo não poderá ser maior do que 8%, o que dificultaria a circulação deste dentro da câmara de fermentação, além de ocasionar entupimentos dos canos de entrada e saída de resíduos.

O desenho de um biodigestor modelo indiano é mostrado na Fig. 18.37.

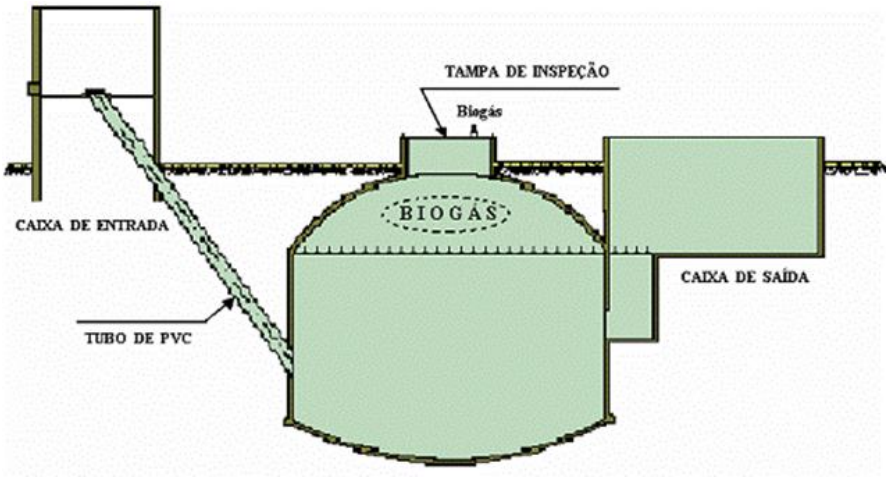
Figura 18.37 – Biodigestor modelo indiano [30]



18.5.3.2.4 Biodigestor modelo chinês

O modelo chinês é construído em alvenaria, composto por uma peça única, como mostra a Fig. 18.38. Ele é formado por uma câmara cilíndrica, com teto abobado e impermeável. O aumento de pressão no interior do biodigestor, devido a produção de gás, faz com que, pelo principio da prensa hidráulica, o efluente da câmara de fermentação se desloque para a caixa de saída, e , quando há descompressão, no sentido contrário.

Figura 18.38 – Biodigestor modelo chinês [30]



18.5.4 Custos da tecnologia

Para a construção de um biodigestor feito de alvenaria, modelo indiano, com capacidade contínua de fornecimento de energia de 43 m^3 por dia, o que é suficiente para o abastecimento de cinco domílios, os custos seriam de aproximadamente R$ 8000,00. Na Tab. 18.8 é possível ver os custos descritos, incluindo-se o material necessário, serviços de escavação e mão de obra.[73]

Tabela 18.8 – Custos de materiais para a construção de um biodigestor em alvenaria, modelo indiano, 2005 [73]

Material	Unidade	Quantidade	Preço	Total	%
Tijolo maciço comum	milheiro	5,75	160,0	920,0	11,25
Cimento	saca	48,0	17,5	840,0	10,28
Areia grossa	m^3	1,0	88,0	88,0	1,08
Areia fina	m^3	3,0	48,0	168,0	2,06
Brita 2	m^3	1,5	59,5	89,3	1,09
Brita 1	m^3	0,5	59,5	29,8	0,36
Impermeabilizante	18 litros	1,5	42,8	64,2	0,79
Tubo PVC 150 mm	barra	2,0	106,4	212,9	2,60
Registro de esfera 50 mm	unidade	1,0	32,7	32,7	0,40
Gasômetro	peça	1,0	4.220,0	4.220,0	51,62
Mangueira cristal (3/4")	m	4,0	2,9	11,6	0,14
Ferro galvanizado (3/8")	barra	2,0	20,6	41,2	0,50
Tubo galvanizado	unidade	0,5	246,6	123,3	1,51
Junções	unidade	16,0	3,1	49,3	0,60
Registro de esfera 32 mm	unidade	1,0	20,7	20,7	0,25
Tubo PVC 32 mm	barra	5,0	27,8	138,8	1,70
Tubo PVC 50 mm	barra	4,0	44,6	178,5	2,18
Outros				32,5	0,40
Total de materiais				**7260**	**88,81**
Escavação	horas	2,50	60,0	150,0	1,84
Mão de obra pedreiro	diárias	20	27,00	540,0	6,61
Mão de obra ajudante	diárias	15	15,00	225,0	2,75
Total de serviços				**915,0**	**11,19**
Total geral				**8.175,0**	**100,00**

18.6 Resíduos agrícolas

18.6.1 Introdução

Resíduos agrícolas são os resíduos produzidos direta e indiretamente em processos produtivos da atividade agrícola.

Na agricultura, um grande volume de resíduos é gerado, com alto potencial de energia, setor no qual o tratamento e a disposição final ainda são incipientes. A produção de resíduos agrícolas é variável e depende de muitos fatores, tais como: a espécie cultivada, o destino da mesma, as condições climáticas, a fertilidade do solo, entre outros.

Esses resíduos são compostos fundamentalmente por celulose e apresentam facilidade de serem pré-processados, o que torna fácil sua preparação para produção de energia. Além disso, suas emissões de carbono são praticamente nulas devido à fotossíntese.

Os resíduos agrícolas que apresentam grande potencial para a produção de energia são: os bagaços, as cascas de frutos, os cereais, rejeitos madeireiros, as palhas, resíduos de podas, entre outros.[31] Logo, tais resíduos, como

biomassa sustentável, podem contribuir para o aumento da oferta de eletricidade e para promoção do desenvolvimento sustentável.

A utilização de tais resíduos mostra-se vantajosa, pois eles são produzidos pelas diferentes culturas agrícolas, tornando os custos de obtenção praticamente nulos.

Para a geração de energia, que requer uma disponibilidade contínua de biomassa, é preciso considerar o caráter sazonal da produção de resíduos. Assim, eles precisam ser armazenados por longos períodos de tempo, o que poderia acarretar na alteração das características desses resíduos, que normalmente passam por um processo de fermentação quando estocados.

A Tab. 18.9 mostra as principais culturas comerciais e resíduos agrícolas no Brasil. A cana-de-açúcar é a cultura que mais produz resíduos. Ela está concentrada no interior do estado de São Paulo, assim cerca de 70% da produção nacional está localizada em um raio de 150 km, o que facilita e reduz os custos de transporte. [32]

Tabela 18.9 – Principais Culturas Comerciais e Resíduos desta Produção no Brasil [32]

Cultura	**Área Plantada (ha)**	**Produtividade Média (unid./ha.ano)**	**Produção Anual**	**Tipo de Resíduo**	**Quantidade de Resíduos (t/ha.ano)**	**Quantidade Total de Resíduos (milhões t/ano)**
Cana-de-Açúcar	4,5-5 milhões	60 t	270-300 milhões t	bagaço	20	90-100
				palha	20	90-100
Eucalipto	3,0 milhões	30 m^3	90 milhões m^3	casca	14,7 (após 7 anos)	6,8
Pinus	1,7 milhão	24 m^3	41 milhões m^3	casca	18,4 (após 14 anos)	2,2
Arroz	n.d.	n.d.	9 milhões t	casca	20%	1,8

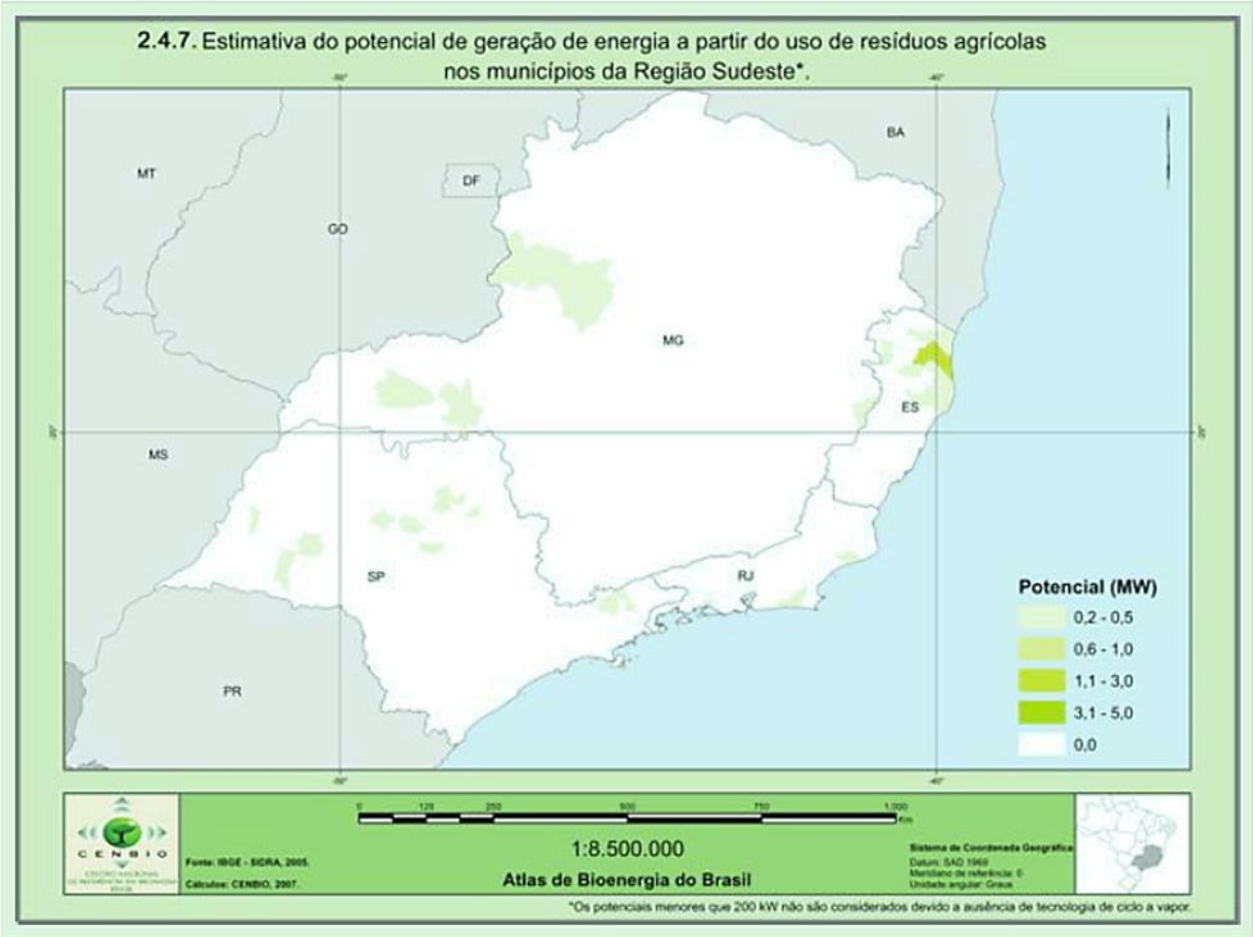
Os principais fornecedores de resíduos agrícolas são os países que contam com:

- Cultivo agrícola ativo;
- Grandes dimensões cultiváveis.

O Brasil produz grande quantidade de resíduos provenientes da agricultura, pois conta com uma enorme produção agrícola.

A Fig. 18.39 apresenta um mapa com a estimativa da produção de energia através de resíduos agrícolas na Região Sudeste. Percebe-se que o Espírito Santo é o estado com maior potencial na região.

Figura 18.39 – Estimativa do potencial de geração de energia a partir do uso de resíduos agrícolas nos municípios da Região Sudeste [33]



O potencial de produção de impactos ambientais de resíduos agrícolas deve-se a alta geração em termos quantitativos e a degradabilidade, que pode ser muito lenta ou ainda gerar subprodutos tóxicos, cumulativos ou de difícil degradação.

O reaproveitamento da biomassa proveniente das atividades agrícolas apresenta as seguintes vantagens:

- Evita a acumulação de resíduos;
- Contribui para o controle da poluição;
- Pode ser utilizado para geração de energia limpa;
- Contribui para fertilização do solo e para a melhoria da produção de alimentos.

A manutenção dos restos das culturas nos locais de cultivo causa benefícios ao solo (esses efeitos podem variar dependendo de cada caso específico). Assim, deve-se levar em consideração que apenas parte desse material po-

de ser coletado para ser utilizado como insumo na produção de energia, já que grande parte é usada para evitar problemas de erosão, reduzir o teor de carbono e evitar a perda de produtividade do solo

Geralmente, apenas 30% a 40% dos resíduos podem ser aproveitados em outro tipo de atividade. [21]

18.6.2 Potencial de geração de energia dos resíduos agrícolas

A Tab. 18.10 mostra informações sobre os poderes caloríficos inferiores dos principais resíduos agrícolas gerados no Brasil.

Tabela 18.10 – Poderes Caloríficos Inferiores de alguns resíduos agrícolas [21]

Resíduos das culturas	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)
Bagaço de cana-de-açúcar	2130
Palha de cana-de-açúcar	3105
Casca do Arroz	3200
Palha do Arroz	3821
Capim-elefante	4200
Palha do Milho	4227
Palha da Soja	3487

A Tab. 18.11 apresenta o potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos provenientes das principais culturas cultivadas no país em 2009.

Tabela 18.11 – Potencial energético dos resíduos das principais culturas brasileiras no ano de 2009 [21]

Cultura	Resíduos (t)	MW
Soja	41.862.129	3.422
Milho	29.432.678	2.406
Cana-de-açúcar (bagaço e torta de filtro)	201.418.487	16.464
Feijão	1.847.984	143
Arroz	2.530.355	175
Trigo	3.033.315	238
Café	1.220.029	97
Cacau	83.025	7
Coco-da-baía	405.009	39
Castanha de caju	80.484	8
TOTAL	**281.913.495**	**22.999**

O potencial total de geração de energia é de 22.999 MW. Pelos dados, é possível observar que a cana-de-açúcar apresenta o maior potencial para geração de energia, enquanto culturas como trigo, café, feijão, cacau, coco e castanha de caju apresentam baixo potencial, o que poderia ser um indicador da inviabilidade econômica do uso desses resíduos para obtenção de energia. [21]

Uma cadeia logística básica da biomassa residual agrícola pode ser vista na Fig. 18.40.

O armazenamento tem como principal objetivo regularizar as diferentes sazonalidades. Essa etapa pode ser realizada ou não, o que depende do tipo do insumo ou da necessidade de disponibilidade do produto final.

Na fase da colheita, muitas variáveis devem ser observadas, o que torna complexa a escolha de implantação da colheita de resíduos para o produtor. São exemplos: a tecnologia a utilizar, os impactos sobre o solo, o máximo que pode ser colhido, o impacto no consumo de diferentes energéticos, etc.

O transporte pode ser realizado por meio de diferentes modais. O preço do transporte é influenciado pelo tipo de modal, pela distância percorrida e pela qualidade da biomassa transportada.

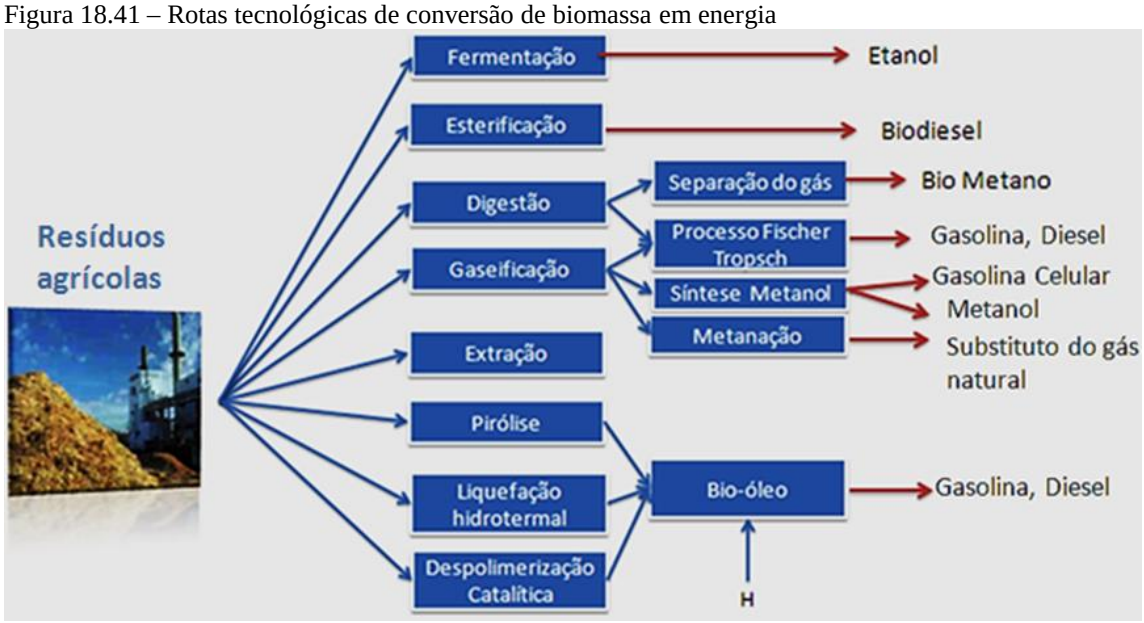
Um problema logístico é a localização do beneficiamento. A fim de reduzir os custos logísticos, o beneficiamento deve ser feito anteriormente as etapas de transporte e armazenamento. [34]

Figura 18.40 – Cadeia logística básica

18.6.3 Tecnologias de conversão de resíduos agrícolas em energia

A Fig. 18.41 mostra as rotas de conversão da biomassa em energia. Vários processos podem ser utilizados a fim de obter-se diferentes produtos de valor energético, sendo os processos termoquímicos e biológicos os mais utilizados.

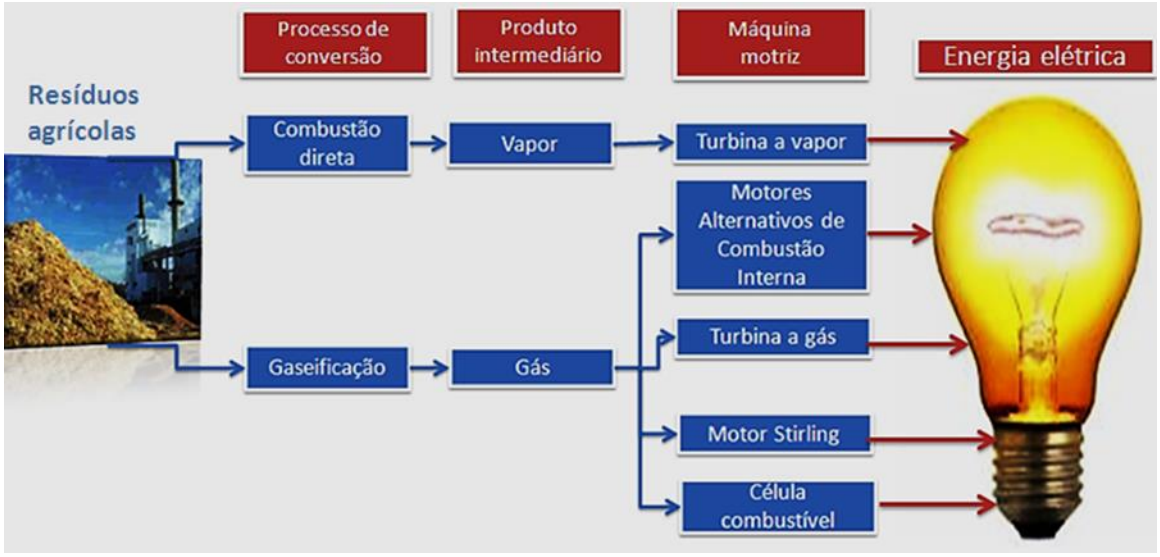
Figura 18.41 – Rotas tecnológicas de conversão de biomassa em energia



A Fig. 18.42 mostra as rotas de conversão da biomassa em energia elétrica. Os resíduos agrícolas podem ser convertidos por processo de combustão direta, através de um ciclo a vapor, que com o uso de uma turbina produz eletricidade.

Por meio da gaseificação, produz-se biogás, que pode ser utilizado para aquecimento e outras aplicações, ou ser convertido em energia elétrica através do uso de motores alternativos de combustão interna, turbina a gás, motor Stirling ou célula combustível.

Figura 18.42 – Rotas tecnológicas de conversão de biomassa em energia elétrica



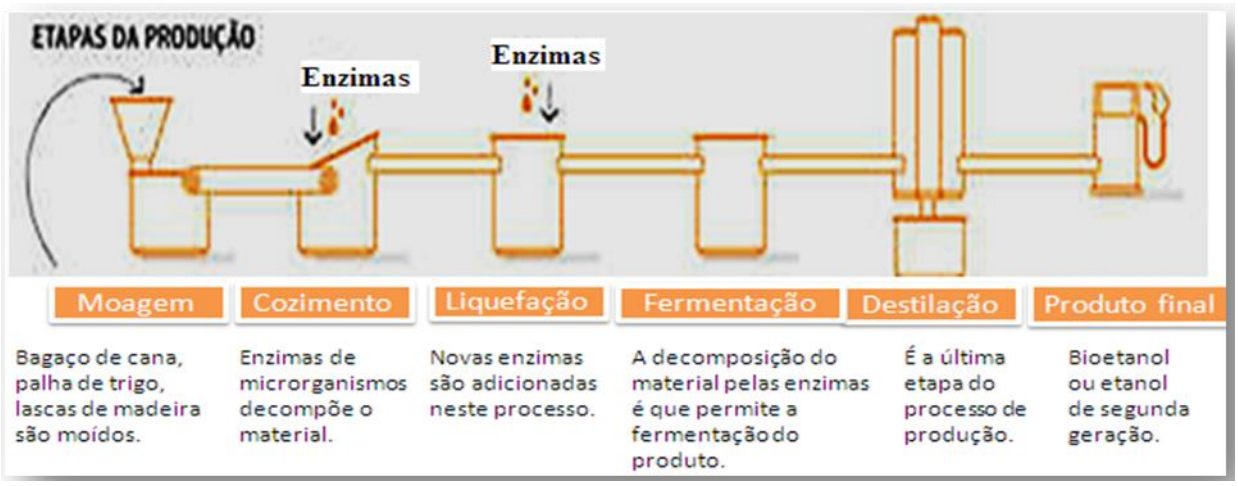
18.6.4 Biocombustíveis de Segunda Geração e os Resíduos Agrícolas

Os biocombustíveis de segunda geração são feitos a partir de resíduos agrícolas e espécies vegetais invasivas, evitando o uso de culturas destinadas à alimentação humana. Com isso, os resíduos agrícolas seriam reaproveitados para produção de etanol.

Os resíduos agrícolas com maior potencial de uso para produção de biocombustível de segunda geração no Brasil são a palha da cana de açúcar, que atualmente é queimada, e as asparas de eucalipto, deixadas nos eucaliptais para retirada das toras limpas.

A celulose (polímero formado por cadeias de glicose) presente na biomassa é quebrada em moléculas simples de glicose, o que permite que a fermentação dessa ocorra e, assim, a consequente produção de álcool. A Fig. 18.43 mostra as etapas do processo de produção.

Figura 18.43 – Etapas do processo de produção do bioetanol [35]



A primeira usina brasileira de etanol de segunda geração terá como insumo a biomassa da cana-de-açúcar e deve começar a produzir até dezembro de 2013, em Alagoas. Ela terá capacidade para produzir 82 milhões de litros de etanol celulósico por ano. [35]

18.6.5 Tendências para os resíduos agrícolas

Os resíduos agrícolas apresentam tendência de aumento de sua geração nos próximos anos, o que torna indispensável o manejo, tratamento e disposição adequados.

Atualmente, os resíduos gerados na atividade agrícola, são utilizados, em sua maioria, para alimentação humana e animal, como fertilizantes, entre outros usos, o que acaba reduzindo o potencial energético dos mesmos.

Outras dificuldades encontradas no aproveitamento energético de tais resíduos são a localização descentralizada, o que torna árdua a sua logística, além de problemas com equipamentos e transporte.

Assim, tendências no setor são a implantação de planos de gerenciamento de resíduos, incentivos para a ampliação do aproveitamento energético, elaboração de políticas de manejo florestal e criação de fundos de investimento para projetos sustentáveis. [74]

18.7 Resíduos industriais

18.7.1 Introdução

Segundo as normas da ABNT, resíduos sólidos industriais são todos os resíduos no estado sólido ou semissólido resultantes das atividades industriais, incluindo lodos e determinados líquidos, cujas características tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d´água ou que exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis. [36]

Os resíduos sólidos industriais são classificados nas seguintes classes, de acordo com a Norma ABNT NBR 10 004:

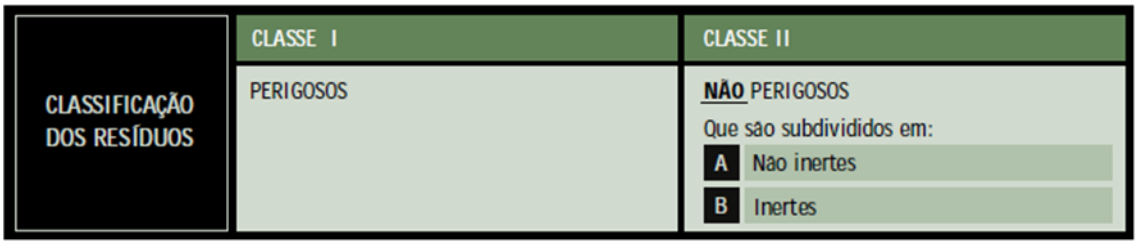
a) Resíduos de Classe I - Perigosos - Resíduos que, em função de suas propriedades físico-químicas e infecto-contagiosas, podem apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente. Devem apresentar ao menos uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

b) Resíduos de Classe II A- Não Inertes - Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou classe III. Apresentam propriedades tais como: combustibilidade, biodegrabilidade ou solubilidade em água.

c) Resíduos de Classe III B- Inertes - Quaisquer resíduos que submetidos a um contato estático ou dinâmico com água, não tenham nenhum de seus componentes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água definidos pelo Anexo H da Norma NBR 10.004. 37

Essa classificação está ilustrada na Fig. 18.44.

Figura 18.44 – Classificação dos resíduos [4]



Os resíduos industriais são os principais responsáveis por danos fatais ao meio ambiente, pois neles estão contidos produtos e solventes químicos, além de metais pesados, entre outros resíduos nocivos, que alteram e ameaçam o ambiente onde são despejados.

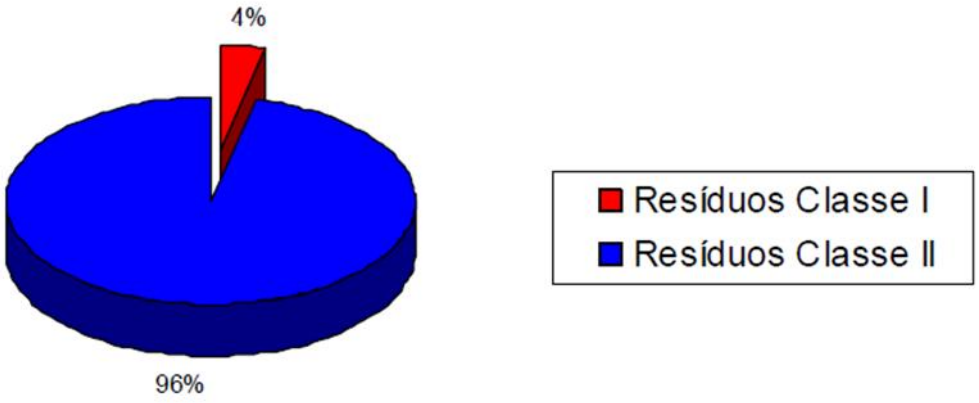
A Tab. 18.12 mostra algumas substâncias perigosas geradas pela atividade industrial.

Tabela 18.12 – Substâncias perigosas geradas pela indústria [36]

Indústria	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Se	Zn	Org	PCB
Baterias		X	X	X				X		
Química			X	X		X			X	X
Eletroeletrônica				X	X	X	X			X
Mineração, Metalúrgica	X	X	X	X	X	X	X	X		
Pesticidas	X				X	X		X	X	X
Petróleo, carvão	X				X					X
Impressão, Cópias	X		X	X	X		X		X	
Papel						X			X	
Têxtil			X	X					X	

Na Fig. 18.45 é possível ver através do gráfico, que apenas 4% dos resíduos industriais produzidos em Minas Gerais são classificados como perigosos, ou seja, pertencem a Classe I.

Figura 18.45 – Porcentagem de resíduos perigosos e não perigosos gerados no Estado de Minas Gerais [37]

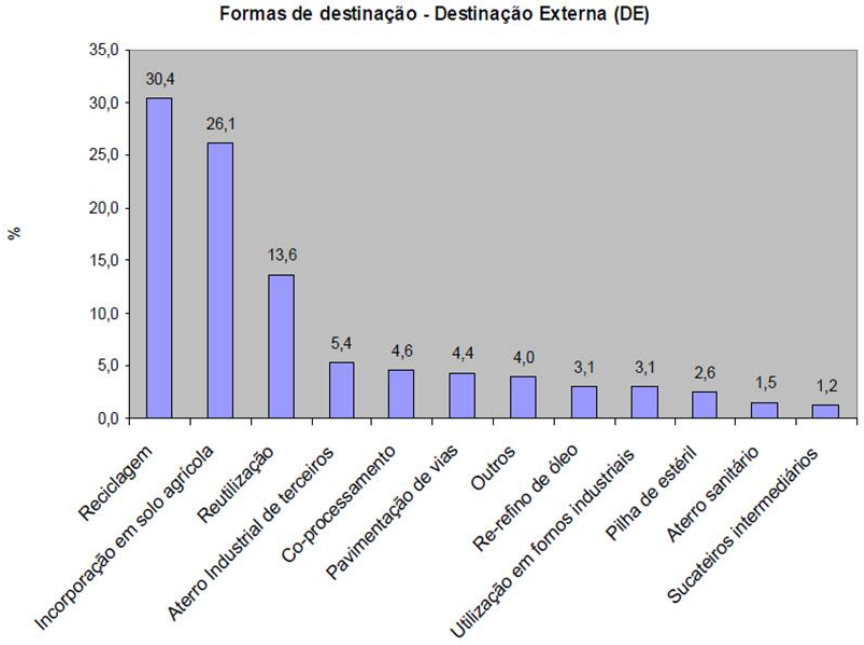


18.7.2 Destinação dos Resíduos Industriais

No Brasil, os resíduos industriais considerados perigosos são destinados principalmente para reciclagem, ou para deposição em aterros municipais e industriais. Os aterros municipais são representados por lixões ou aterros controlados, os quais não são capazes, com sua infraestrutura, de armazenar corretamente resíduos perigosos. Essa destinação inadequada pode acarretar em danos ao meio ambiente e à saúde humana.

Na Fig. 18.46, o gráfico mostra a destinação dos resíduos no estado de Minas Gerais que tem destino externo, ou seja, os quais não são usados na própria indústria que os gerou, o que representa 44,42% do total.

Figura 18.46 – Destinação externa dos resíduos industriais em Minas Gerais [37]



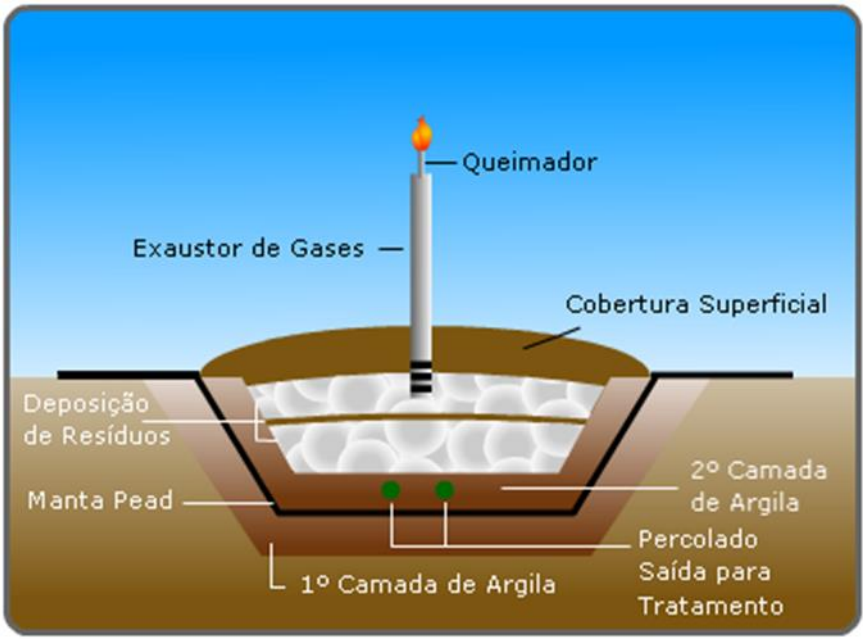
18.7.2.1 Aterro industrial

O aterro industrial é projetado especialmente para receber resíduos industriais. Essa técnica consiste em armazenar o resíduo na menor área e volumes possíveis, cobrindo-os com uma camada de material inerte, propiciando um confinamento seguro dos resíduos, a fim de promover o controle da poluição ambiental e a proteção à saúde pública. Para tal, o aterro requer:

- Localização adequada;
- Elaboração de projeto criterioso que conte com uma infraestrutura de apoio, além de obras de controle;
- Regras operacionais específicas.

A Fig. 18.47 mostra um aterro industrial.

Figura 18.47 – Aterro industrial [38]



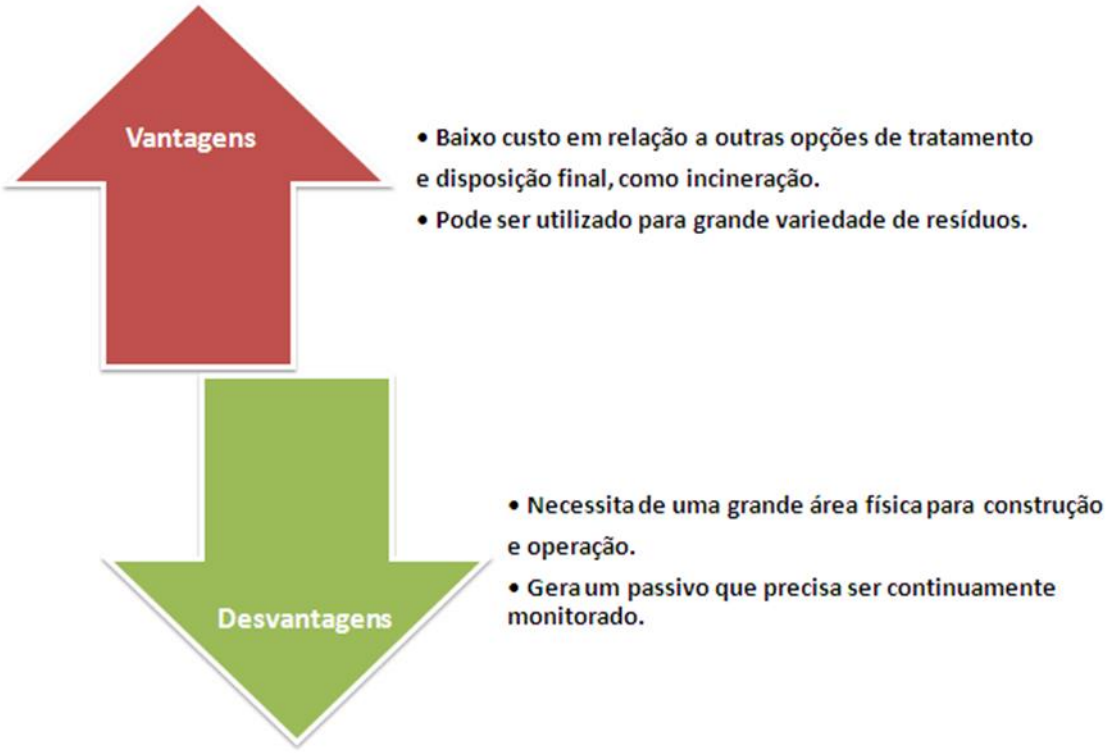
Os aterros industrias são classificados de acordo com o grau de periculosidade dos resíduos. Os aterros Classe I são projetados para receber resíduos industriais perigosos. Os aterros Classe II A podem receber os resíduos não inertes, e os da Classe II B somente os resíduos inertes.

Na operação dos aterros, uma questão que deve ser observada é o controle dos resíduos a serem dispostos, para que resíduos não quimicamente compatíveis não sejam depositados juntos, evitando assim que ocorra alguma reação entre eles ou com as águas de chuva infiltradas. Até que possam ser incorporados de forma natural ao meio ambiente, os resíduos continuam potencialmente perigosos no solo.

A maior desvantagem quanto ao uso de aterros é a sua demanda por grandes extensões de área. Além disso, o investimento inicial e o custo operacional são elevados.

A Fig. 18.48 apresenta as vantagens e desvantagens dessa tecnologia.

Figura 18.48 – Vantagens e desvantagens do aterro industrial



18.7.2.1.1 Aterros de resíduo - Classe I

A construção de aterros industriais de Classe I requer cuidados especiais, devido as características de periculosidade dos resíduos. Os principais elementos para elaboração do projeto são:

- Sistema de drenagem de águas pluviais;
- Sistema de impermeabilização superior e inferior;
- Sistema de detecção de vazamentos;
- Sistema de cobertura.

18.7.2.1.2 Aterros de resíduo Classe II A

Destinam-se a receber resíduos industrias não perigosos e não inertes. Os resíduos não podem ser reativos nem inflamáveis e podem ter apenas solvente, óleo ou água em baixa quantidade. Esse tipo de aterro deve ter as seguintes características:

- Impermeabilização com argila e geomembrana de PEAD;
- Sistema de drenagem;

- Tratamento de efluentes líquidos;
- Programa de monitoramento ambiental.

18.7.2.1.3 Aterros de resíduo - Classe II B

Destinam-se a receber os resíduos inertes, como rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são facilmente decompostos, dispensando a impermeabilização do solo. Esse tipo de aterro possui:

- Sistema de drenagem de águas pluviais;
- Sistema de monitoramento ambiental (contempla o acompanhamento geotécnico do maciço de resíduos).

18.7.2.2 Coprocessamento

O coprocessamento consiste no reaproveitamento de resíduos no processo de fabricação do cimento, causando a destruição térmicas desses nos fornos de clínquer. Os resíduos industriais são utilizados como substitutos parciais do combustível ou matéria prima.

Os compostos orgânicos são destruídos no processo, devido principalmente as altas temperaturas e ao tempo de residência. As cinzas geradas são incorporadas ao clínquer, sem geração de qualquer efluente proveniente de sua queima.

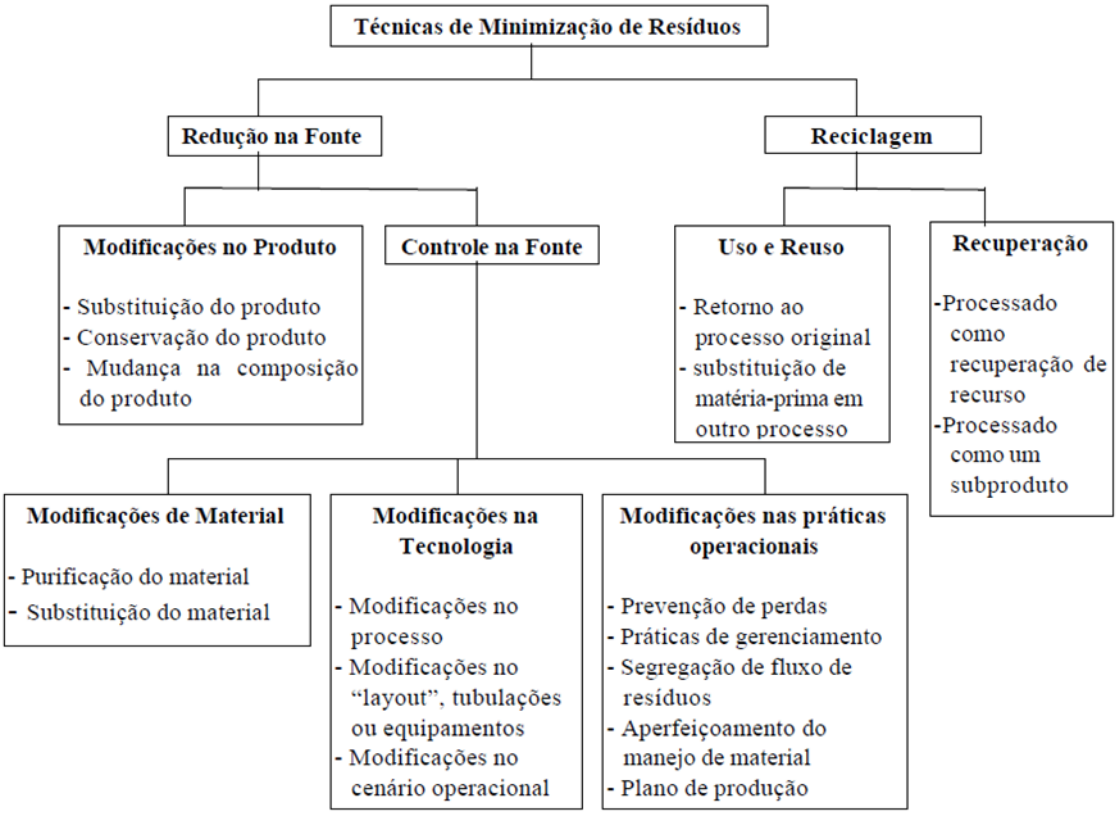
Resíduos que podem ser coprocessados :	**Resíduos que não podem ser coprocessados :**
• Substâncias oleosas;	• Materiais radioativos;
• Corantes, tintas, vernizes;	• Lixo hospitalar;
• Catalisadores usados;	• Pilhas, baterias;
• Produtos fotográficos;	• Lixo doméstico ou urbano;
• Lodo de esgoto;	• Vidro;
• Resinas, colas, solventes impregnados com tinta.	• Embalagens metálicas. [39]

O uso do coprocessamento para tratar os resíduos deve ter maior crescimento em Minas Gerais, já que o estado é um grande produtor de cimento, embora a necessidade do licenciamento ambiental para cada operação de coprocessamento no estado atrase a comercialização dessa tecnologia.

18.7.3 Técnicas de minimização dos resíduos

A Fig. 18.49 ilustra técnicas de minimização de resíduos a fim de reduzir a poluição. A indústria pode reduzir o uso de matérias-primas, praticar a reciclagem e até mesmo promover modificações, que podem ser no material, na tecnologia e nos processos, diminuindo a quantidade de resíduos produzida.

Figura 18.49 – Técnicas de Minimização de Resíduos [40]



Reduzir a poluição gerada é um grande objetivo das indústrias, que assim teriam menos gastos em tratamento de seus resíduos e evitariam o confronto com as leis ambientais vigentes, cada vez mais rígidas.

18.7.4 Custos para disposição de resíduos industriais

Os custos para que os Resíduos Classe I sejam tratados com o uso de incineradores variam de R$ 500,00 a 3.000,00 por tonelada. Os custos para realização de coprocessamento com os Resíduos Classe I e Classe IIA variam de R$ 150,00 a 800,00 por tonelada. Já os custos para disposição final em Aterros Industriais de Resíduos Classe IIA e IIB variam de R$ 60,00 a 130,00 por tonelada.[71]

18.7.5 Tendências para os resíduos industriais

No país há uma tendência crescente de identificação da quantidade de resíduos gerados. As agências ambientais estão controlando de forma mais eficaz a destinação desses resíduos, além de um progressivo número de empresas que implantam sistemas de gestão ambiental. Assim, faz-se necessária a utilização de novas tecnologias que auxiliem no gerenciamento dos resíduos gerados pela atividade industrial, reduzindo os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana.

Entre as tendências para os resíduos industriais, podemos citar:

- Terceirização do tratamento de resíduos;

- Tratamento em unidades centralizadas;
- Uso intensivo de tecnologias;
- Monitoramento em tempo real;
- Resíduo último;
- Ampliação do conceito de resíduos. [72]

18.8 Efluentes líquidos

18.8.1 Introdução

Os efluentes líquidos são geralmente despejos provenientes de indústrias ou resultantes das atividades humanas que são descartados no meio-ambiente.

Resíduos são incorporados a água depois dessa ser utilizada em algum processo, o que altera suas características físico químicas, gerando os efluentes líquidos.

A água utilizada nas atividades domésticas se transforma em um efluente líquido denominado esgoto.

18.8.2 Efluente industrial

Este efluente é gerado nas atividades industriais, como:

- Condensação de algumas operações;
- Resfriamento;
- Águas de lavagem;
- Operações de limpeza de pisos, tubulações, equipamentos;
- Água resultante ou eliminada no decorrer de várias reações; e
- Outras fontes de processamento.

As características químicas, físicas e biológicas dos efluentes industriais dependem do tipo da indústria, do seu período de operação, da reutilização da água, da matéria-prima utilizada, entre outros. A Fig. 18.50 mostra os fatores utilizados para caracterização da massa líquida.

Figura 18.50 – Caracterização da massa líquida de efluentes

Abaixo, algumas características são abordadas.

Sólidos em suspensão: são os resíduos que permanecem no filtro após a etapa de filtragem, dividindo-se em sólidos sedimentáveis, que se sedimentam após um período de repouso, e sólidos não sedimentáveis, que podem ser removidos por outros processos, como floculação e decantação.

Sólidos dissolvidos: são os sólidos em solução na amostra do efluente, que, desse modo, passam através do filtro.

Temperatura: a solubilidade do oxigênio na água é influenciada pela variação da temperatura, o que pode causar danos aos peixes do meio no qual o efluente é descartado, já que o aumento da temperatura diminui a quantidade de oxigênio na água.

Cor: causa impacto visual nos corpos d'água, é alterada devido a corantes orgânicos e inorgânicos.

pH: é um importante fator de controle dos efluentes, na fase de tratamento e também nos corpos hídricos onde esses serão lançados.

Características biológicas: ligadas à presença de microrganismos no efluente. [41]

18.8.3 Tratamento de efluentes industriais

A Tab. 18.13 apresenta diferentes técnicas de tratamento de efluentes líquidos industriais, de acordo com os contaminantes. Eles podem ser processos físicos, químicos ou biológicos.

Tabela 18.13 – Tratamento de efluentes industriais

Contaminantes	Operação ou tratamento
Sólidos suspensos	Gradeamento Remoção de areia Sedimentação Filtração Flotação Adição de polímeros químicos Coagulação/Sedimentação Sistemas Naturais
Orgânicos biodegradáveis	Lodos ativados Reatores de filme fixo: filtros biológicos e contactadores biológicos rotativos
Orgânicos voláteis	Striping Tratamento de gás pós-striping Adsorção por carvão
Patogênicos	Cloração Cloreto de bromo Ozonação Radiação UV Sistemas naturais
Nutrientes (Nitrogênio)	Nitrificação e desnitrificação com culturas em suspensão ou filme fixo Stipping de amônia Troca Iônica Cloração Sistemas Naturais
Fósforo	Adição de sais metálicos Coagulação/Sedimentação com cal Remoção biológica Remoção química-biológica Sistemas Naturais
Nitrogênio e Fósforo	Remoção de nutrientes biológica
Orgânicos refratários	Adsorção de carvão Ozonação Sistemas Naturais
Metais Pesados	Precipitação química Troca Iônica Sistemas Naturais
Sólidos dissolvidos orgânicos	Troca Iônica Osmose reversa Eletrodiálise

As indústrias estão buscando uma relação ótima que indique o quanto do efluente deve ser reutilizado, já que em muitos casos torna-se inconveniente tanto do ponto de vista econômico quanto do ambiental, que seja efetuada a totalidade de reuso desses efluentes.

A cobrança pelo uso da água tem como objetivo evitar que as indústrias despejem efluentes nos rios, pelo conceito do poluidor-pagador. Logo, sai mais barato para o empresário tratar esse efluente do que pagar pelo direito de uso da água.

Por motivos econômicos, a degradação biológica é um dos processos mais usados para o tratamento de efluentes.

A Tab. 18.14 compara alguns sistemas de tratamento de efluentes empregados no Brasil e a descrição desses pode ser vista abaixo.

Tabela 18.14 – Eficiência de remoção dos tipos de tratamento [43]

Sistema de Tratamento	Eficiência de remoção (%)	Área requerida (m^2/hab)	Potência Requerida (W/hab)	Custo de Implantação (US$/hab)
Lodos Ativados	85-93	0,2-0,3	1,5-2,8	60-120
Lagoa Facultativa	70-85	2,0-5,0	~0	10-30
Lagoa Anaeróbica + Facultativa	70-90	1,5-3,5	~0	10-25
Reator tipo UASB	60-80	0,05-0,10	~0	20-40

Lodos ativados: Nesse processo há uma alta velocidade de degradação da matéria orgânica. O efluente se sedimenta nos decantadores e passa para o tanque de aeração. Neste, o lodo contendo microrganismos aeróbios cresce e é recirculado.

Lagoa facultativa: Podem receber tanto águas residuárias brutas, quanto as que já passaram por algum tipo de tratamento. São chamadas facultativas, pois apresentam condições aeróbias próximas a superfície superior da lagoa e anaeróbias próximas ao fundo dessa. Funcionam pela ação de bactérias e algas.

Lagoa anaeróbia: O processo biológico é predominante anaeróbio, no qual ocorre a oxidação. Os organismos presentes removem o oxigênio dos compostos das águas residuárias.

Reator tipo UASB (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente): Esses reatores se baseiam no principio de separação das fases sólida, líquida e gasosa. São reatores de manta de lodo nos quais o esgoto entra pelo fundo do reator e, pelo seu movimento ascendente, atravessa uma camada de lodo biológico, situada em sua parte inferior. Posteriormente, o esgoto passa por um separador de fases, escoando em direção à superfície.

A grande maioria dos reatores instalados no Brasil são do tipo UASB devido à sua simplicidade de construção e operação, às condições de clima favoráveis, entre outros.

18.8.4 Regulamentação

A Resolução CONAMA 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

De acordo com a resolução, podem ser lançados nos corpos hídricos os efluentes de qualquer fonte poluidora, desde que esses sejam tratados de forma adequada e sejam atendidas algumas exigências.

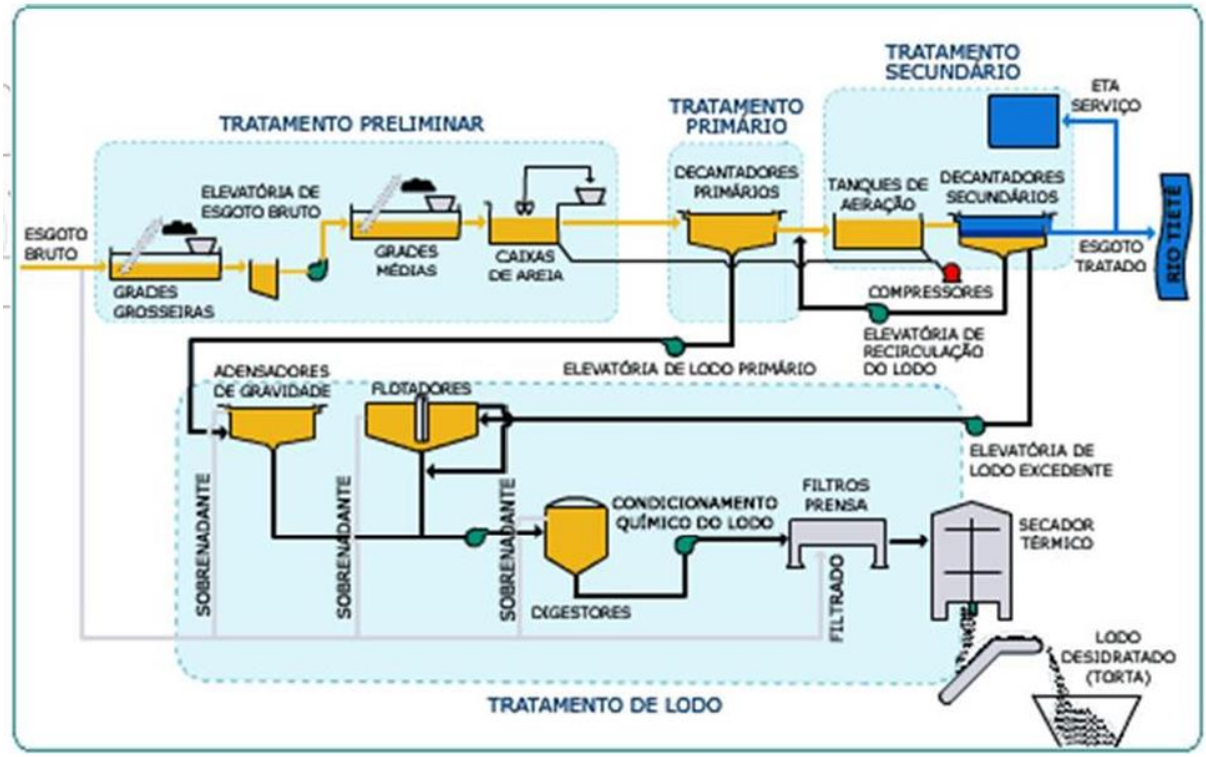
Ensaios ecotoxicológicos podem ser realizados, a fim de identificar os efeitos dos efluentes sobre o corpo receptor.

18.8.5 ETE- Estação de Tratamento de Efluentes [44]

Um sistema de tratamento de efluentes líquidos normalmente é composto pelas seguintes etapas: tratamento preliminar (gradeamento e desaneração), tratamento primário (floculação e sedimentação), tratamento secundário (processos biológicos de oxidação), tratamento do lodo e tratamento terciário (polimento da água).

A Fig. 18.51 mostra uma Estação de Tratamento de Efluentes.

Figura 18.51 – Tratamento dos efluentes líquidos industriais [45]



- Tratamento preliminar (processos físicos)

Utilizando-se grelhas e crivos os materiais em suspensão são removidos, ocorrendo a retirada de sólidos grosseiros (gradeamento).

Através de canais de areia é feita a separação das águas residuais da areia por sedimentação. A matéria orgânica possui sedimentação mais lenta do que a areia, logo continua em suspensão e segue para as outras etapas.

- Tratamento primário (processos físico-químicos)

Primeiramente, ocorre o processo de floculação, no qual as partículas são agrupadas por meio da adição de produtos químicos, o que facilita a decantação. Nesta, se dá a separação do sólido (lodo), que sedimenta-se no fundo do tanque de decantação, do líquido (efluente bruto).

- Tratamento secundário (reações bioquímicas)

No tanque de aeração, a matéria orgânica é utilizada como alimento pelos microrganismos aeróbios, que a convertem em gás carbônico, água e material celular.

Ocorre outra etapa de decantação, na qual os sólidos em suspensão presentes no tanque de aeração são separados, dando origem a um efluente clarificado e fazendo com que os sólidos sejam sedimentados no fundo do decantador.

O efluente do tanque de aeração passa pelo processo de decantação, onde separa-se o lodo ativado. Este volta para o tanque de aeração, já que é necessário para fornecer microrganismos para o tanque, a fim de melhorar a eficiência da decomposição. O lodo excedente é então descartado.

- Tratamento de lodo

No processo de adensamento do lodo, que contém uma grande quantidade de água, procura-se aumentar o seu teor de sólidos, a fim de reduzir o seu volume. Esse processo pode ser realizado por gravidade ou flotação.

O lodo fresco, então, passa pela etapa de digestão anaeróbica, na qual ocorre a estabilização da matéria orgânica e de substâncias instáveis. Utilizando-se produtos químicos, é feita a estabilização do lodo e respectivamente, sua desidratação e secagem , a fim de retirar a umidade presente no lodo, reduzindo seu volume final significativamente.

- Tratamento terciário

É usado a fim de se obter reduções adicionais de poluentes em águas residuárias. Os processos empregados para tal variam de acordo com as necessidades de cada indústria, sendo por isso muito diversificados.

A Tab. 18.15 apresenta a estimativa de eficiência esperada nos vários níveis de tratamento de uma ETE.

Tabela 18.15 – Estimativa da eficiência esperada nos diversos níveis de tratamento incorporados numa ETE [46]

Tipo de tratamento	Matéria orgânica (% remoção de DBO)	Sólidos em suspensão (% remoção SS)	Nutrientes (% remoção nutrientes)	Bactérias (% remoção)
Preliminar	5 – 10	5 –20	Não remove	10 – 20
Primário	25 –50	40 –70	Não remove	25 –75
Secundário	80 –95	65 –95	Pode remover	70 – 99
Terciário	40 - 99	80 – 99	Até 99	Até 99,999

Os efluentes líquidos domésticos no Brasil são coletados nas áreas urbanas e, na maioria dos casos, não recebem nenhum tipo de tratamento antes de serem lançados nos corpos hídricos. Segundo a ANA (Agência Nacional de Águas), menos da metade dos municípios do país possui sistemas de coleta de esgoto e apenas 15% é tratado. [47]

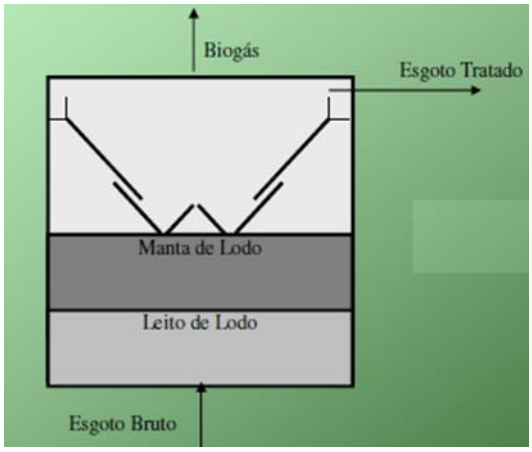
18.8.6 Tecnologias aplicadas ao tratamento de efluentes líquidos

O tratamento de efluentes líquidos por meio da digestão anaeróbica permite que o potencial poluidor do efluente seja reduzido significativamente, além da recuperação da energia na forma de biogás.

O tratamento anaeróbico do efluente ocorre nos biodigestores, que são câmaras fechadas que diminuem o volume dos sólidos e estabilizam o lodo, reduzindo os microrganismos patogênicos.

Atualmente, o modelo mais utilizado para o tratamento de efluentes líquidos é o Modelo RAFA – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, mostrado na Fig. 18.52.

Figura 18.52 – Biodigestor Modelo RAFA [48]



Ele possui retenção interna de lodo, que pode ser usado como fertilizante, e seu princípio é baseada no fluxo ascendente, ou seja, ele é alimentado pelo fundo e o efluente é descartado após passar por placas defletoras no topo, onde ocorre a separação das fases líquida e gasosa). [48]

Para outras informações, a biodigestão e os tipos de biodigestores já foram abordados nos itens anteriores.

18.8.7 Produção de energia

Os efluentes líquidos que tem alto teor de matéria orgânica em sua composição apresentam um alto potencial para a produção de metano. Pode-se citar como exemplo principalmente os efluentes do esgoto doméstico e de indústrias como a alimentícia, de bebidas, de papel e celulose. Ademais, o metano é um subproduto do tratamento desses resíduos pelo processo anaeróbico.

O principal fator determinante da geração de metano é a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que revela a matéria orgânica presente nos efluentes. A DBO é expressa em mg/L e representa a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica. [49]

A composição do biogás gerado varia de acordo com a composição dos efluentes e com as condições operacionais, sendo constituído de 50 a 70% de metano. O poder calorífico, após o biogás ser seco e tratado, é de 5,9 kWh/m³. Ele pode ser utilizado em motores de combustão interna, distribuído em redes, alimentar caldeiras ou

produzir energia elétrica. Quando ele não atinge os padrões requeridos para tais atividades, pode ser queimado ou então tratado antes de ser lançado para a atmosfera. [50]

As empresam que usam o biogás advindo de esgoto sanitário podem adotar o sistema de cogeração de energia. Os gases de exaustão gerados podem ser utilizados para aquecimento dos digestores e do secador de lodo, o que aumenta a eficiência de todo o processo e reduz os custos da instalação, além de tornar possível a comercialização dos excedentes de energia.

18.8.8 Tendências para os efluentes líquidos

A realização de processos anaeróbios-aeróbios combinados é uma tendência para o tratamento de efluentes. Esse método consiste no tratamento alternado do efluente, através de métodos ora anaeróbios, ora aeróbios.

Isso permite que ocorra um aumento de eficiência de todo o processo, tendo como consequência a diminuição do tamanho das estações de tratamento, além da redução dos tempos de residência.

Na Finlândia, um tratamento desse tipo está em andamento, alcançando resultados positivos. Esse procedimento, denominado Enso-Fenox permite a redução de halogênios adsorvíveis em 7 horas, enquanto que em lagoas aeróbias esse tratamento demora 7 dias. Ressalta-se que, como desvantagem, esse sistema não permite uma eficiente degradação de compostos de alta massa molar. [75]

18.9 Florestas energéticas

18.9.1 Introdução

Florestas energéticas são plantações florestais para fins industriais, cultivadas com o objetivo de servirem de insumo para a produção de energia, evitando assim a pressão do desmatamento sobre as florestas naturais.

A biomassa florestal possui características que a tornam apta a ser usada como insumo na produção de energia, que pode ser realizada através da queima da madeira, gerando o carvão vegetal, ou pelo aproveitamento de resíduos da exploração ou ainda pelo aproveitamento de óleos essenciais, alcatrão e ácido pirolenhoso. As espécies mais cultivadas são Eucaliptos e Bracatingas, para substituição da madeira nativa.

A biomassa advinda das florestas energéticas é uma fonte renovável e possui balanço de carbono nulo quando usada para fins energéticos, desempenhando uma papel de combate ao efeito estufa. Se utilizada para outros fins, é uma excelente fixadora de carbono.

A Tab. 18.16 mostra a produção de resíduos em florestas nativas e florestas plantadas. Pode-se observar que as últimas produzem menos resíduos, sendo aproveitadas, portanto, de forma mais eficiente.

Tabela 18.16 – Operações florestais e geração de resíduos (% da tora em pé) [51]

Operação	Florestas nativas		Florestas plantadas	
	Produto	**Resíduo**	**Produto**	**Resíduo**
Corte	30-40	60-70	80-90	10-20
Processamento primário e secundário	10-20	10-20	30-40	40-50
Total	**10-20**	**80-90**	**30-40**	**60-70**

As plantações de florestas para fins energéticos ainda é incipiente e restrita a apenas alguns países, mas apresenta grande potencial, especialmente no Brasil, por suas características tropicais e extensão territorial.

O setor florestal no mundo engloba os segmentos abaixo:

- Energia térmica;
- Produtos sólidos da madeira;
- Celulose de Mercado;
- Papel.

A biomassa de madeira produzida de forma renovável pode ser usada para:

- Geração de eletricidade, substituindo o uso de combustíveis fósseis.
- Geração de calor, através de combustão.
- Servir como agente de redução na fundição de ferro-gusa.

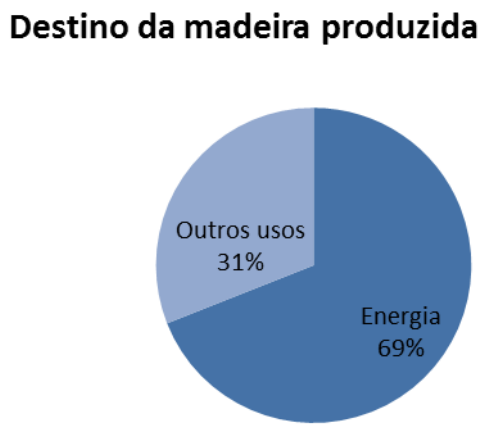
No Brasil, a maior parte das florestas plantadas é destinada à produção de celulose.[4] O maior consumidor de madeira para fins energéticos no país é o setor siderúrgico.

A demanda atual de lenha como energético no Brasil para uso na indústria é maior do que a oferta, o que mostra que existe um déficit de lenha como fonte de energia. Essa insuficiência na oferta tem limitado o crescimento do setor industrial, ao mesmo tempo que provoca pressão nas florestas nativas.

Atualmente, cerca de 60% do carvão vegetal produzido no país é proveniente de florestas nativas.[52] O uso de carvão vegetal proveniente de florestas plantadas vem aumentando com o passar dos anos.

O Brasil é o maior produtor mundial de aço, indústria que demanda grandes quantidades de carvão vegetal. Isso justifica o percentual de 69% do uso de madeira que é destinada a produção de energia, como mostra a Fig. 18.53.

Figura 18.53 – Destino da madeira consumida anualmente no Brasil [53]



A Tab. 18.17 apresenta a distribuição do consumo setorial de madeira para uso energético. Percebe-se que 43,3% da madeira é utilizada no setor de transformação, principalmente para produção de carvão vegetal e, em pequena escala, geração de eletricidade.

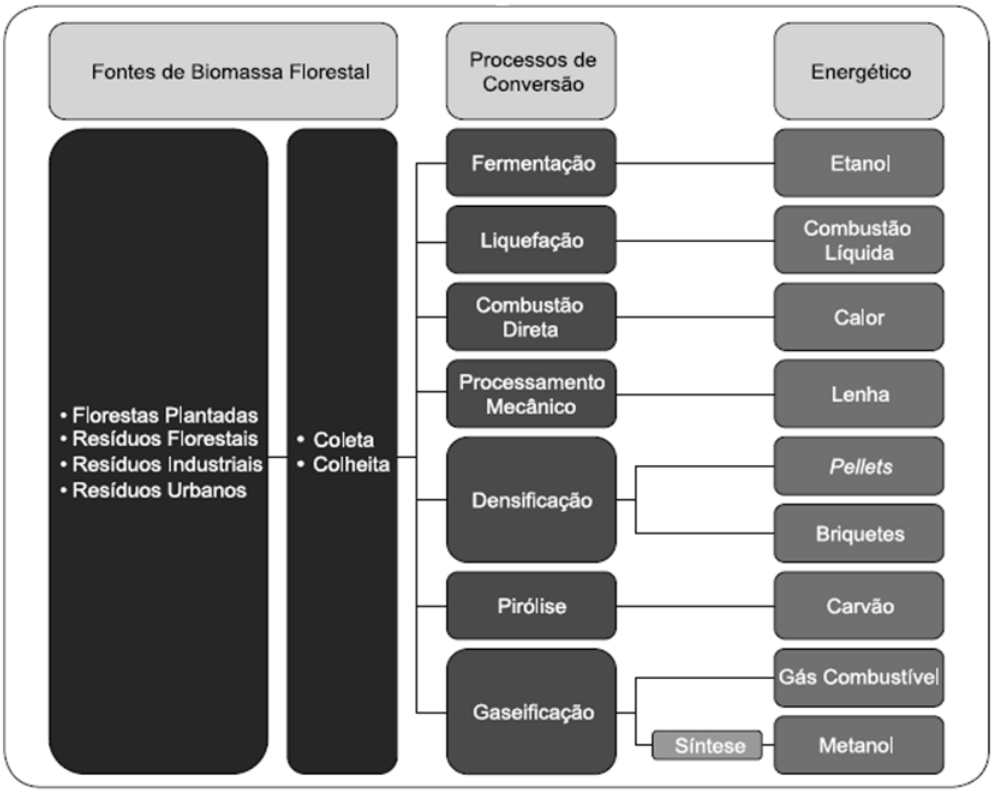
Tabela 18.17 – Distribuição do consumo setorial de madeira para energia no Brasil em 2005 [53]

Setor	%
Transformação	43,3
Residencial	29,0
Agropecuário	7,7
Industrial	19,8
Outros	0,3
Total	100

A expansão das áreas de florestas plantadas é prejudicada pela baixa disponibilidade de sementes e por tecnologias arcaicas utilizadas atualmente para a conversão da biomassa, como os fornos rabo-quente para produção de carvão vegetal, que possuem baixa eficiência e desperdiçam produtos que poderiam aumentar a rentabilidade do processo.

A Fig. 18.54 mostra as fontes de biomassa florestal, os processos de conversão e o energético resultante.

Figura 18.54 – Processos de conversão energética da biomassa da madeira [54]



Fonte: Elaboração BNDES, com base em Aneel (2005).

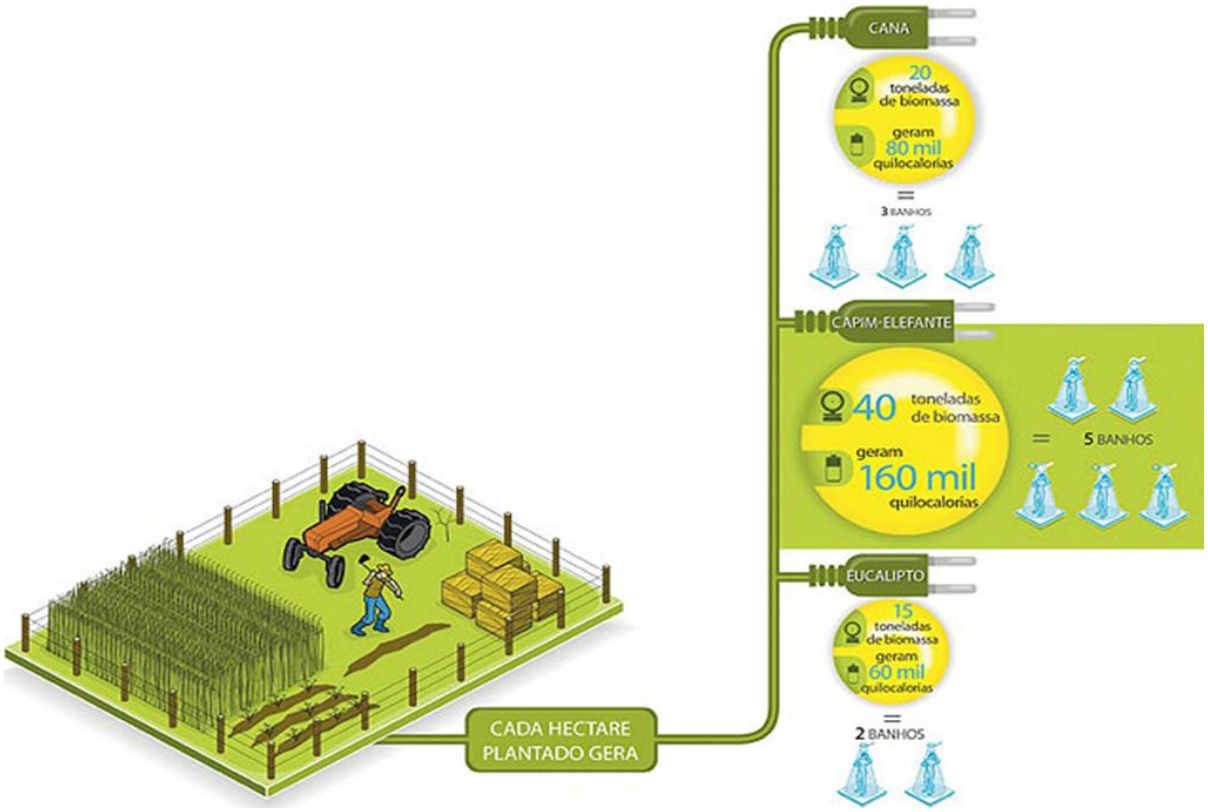
A Tab. 18.18 mostra o poder calorífico de alguns combustíveis lenhosos, comparando-os com combustíveis de origem fóssil.

Tabela 18.18 – Poder calorífico de alguns combustíveis [54]

Combustível					
Lenhoso	**kcal/kg**	**Fóssil**	**Kcal/kg**	**Gasoso**	**Kcal/m³**
Celulose	3.300	Turfa	3.439	Gás natural	8.622
Lignina	3.797	Coque	7.308	Propano	21.997
Amido/açúcar	3.797	Óleo pesado	9.649	Butano	28.446
Carbono puro	4.394	Óleo leve	10.055		
Casca	4.991	Óleo diesel	10.750		
Madeira	5.995	Petróleo	10.800		
Lenha	6.800				
Carvão vegetal	8.049				

A Fig. 18.55 traz uma comparação entre a produtividade dos principais cultivos de florestas plantadas com fins energéticos.

Figura 18.55 – Produtividade dos principais cultivos de florestas energéticas [68]



A Sociedade Brasileira de Silvicultura, com base nas expectativas de crescimento da demanda, estima que haverá uma necessidade de plantio de: 170 mil ha / ano para celulose, 130 mil ha / ano para madeira sólida, 250 mil ha / ano para carvão vegetal e 80 mil ha / ano para energia. [55]

18.9.2 Cana

A cana de açúcar é uma planta originada na Ásia, com tronco fino e comprido e com alta concentração de açúcar. A partir da cana pode-se gerar açúcar de diferentes tipos, álcool anidro, álcool hidratado, eletricidade através da queima do bagaço e da palha, e ainda plástico biodegradável.

Assim, a cana de açúcar se destaca como o principal tipo de biomassa energética, servindo de base para o setor sucroalcooleiro. Atualmente, 80% da bioeletricidade produzida no país vêm deste produto.

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo. Ela ocupa o terceiro lugar em área plantada no país, atrás apenas da soja e do milho. Em 2011 a área plantada de cana no Brasil foi de 9.628.658 de hectares. [52]

Na Tab. 18.19 é possível ver o histórico de produção de cana-de-açúcar no país para todos os fins.

Tabela 18.19 – Histórico de produção de cana-de-açúcar no Brasil [57]

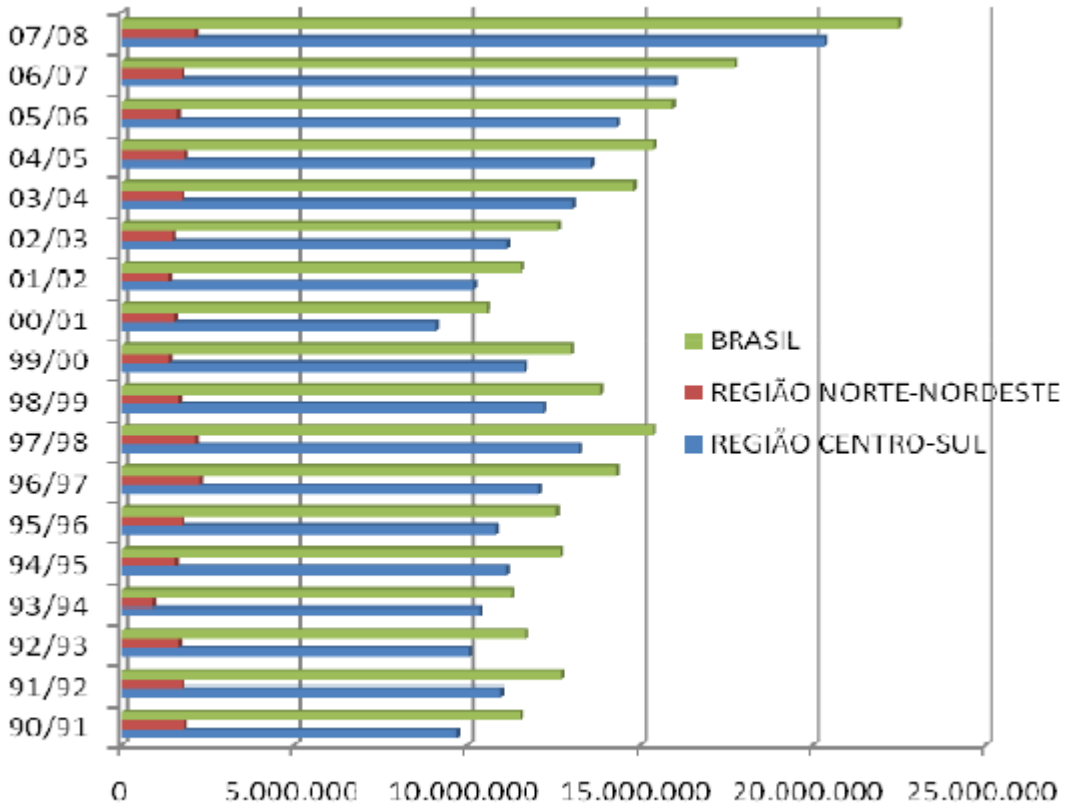
Ano	Área plantada (milhões de há)	Área colhida (milhões de ha)	Produção (milhões de t)	Rendimento (t/ha)
1987	4,35	4,31	268,58	62,31
1988	4,15	4,12	258,45	62,78
1989	4,01	4,07	252,29	62,02
1990	4,29	4,27	262,60	61,49
1991	4,24	4,21	260,84	61,94
1992	4,20	4,20	271,43	64,61
1993	3,97	3,86	244,30	63,24
1994	4,36	4,34	292,07	67,23
1995	4,62	4,57	303,56	66,49
1996	4,90	4,83	325,93	67,52
1997	4,95	4,86	337,20	69,10
1998	5,00	4,97	338,97	68,18
1999	4,86	4,85	331,71	68,41
2000	4,82	4,82	325,33	67,51
2001	5,02	4,96	344,28	69,44
2002	5,21	5,10	363,72	71,31
2003	5,38	5,37	389,85	72,58
2004	5,57	5,63	416,26	73,88
2005	5,62	5,76	419,56	72,83
2006	7,04	6,19	457,98	74,05
2007	7,85	6,71	514,08	76,6
2008	8,92	8,14	648,85	77,52

De acordo com estudos, o potencial de geração de eletricidade da queima do bagaço de cana em termoelétricas no país é em torno de 4.000 MW, com o uso de tecnologias já disponíveis atualmente. [58]

O Brasil é hoje referência mundial na produção de etanol derivado da cana de açúcar. O etanol do país apresenta menor preço e maior produtividade se comparado ao produzido com outros insumos.

A Fig. 18.56 mostra a produção de etanol no Brasil. O estado de São Paulo é o maior produtor, responsável por 60% da produção nacional.

Figura 18.56 – Produção de etanol no Brasil [69]



18.9.3 Capim elefante

O capim elefante é uma planta de origem africana que foi introduzida no Brasil em 1920, vinda de Cuba. Atualmente, essa gramínea encontra-se difundida nas cinco regiões brasileiras, podendo ser utilizada de diversas formas.59

Ele apresenta alto potencial para uso como alternativa energética, dado a sua alta produtividade (cerca de 40 toneladas de massa seca, por hectare por ano) e ao seu rápido ciclo produtivo (colheita seis meses após o plantio), o que auxilia na produção de energia renovável em grande escala, além de aumentar suas ofertas de mercado.

O capim elefante é uma denominação genérica, que engloba mais de 200 variedades de capim. Assim, é fundamental analisar as características do solo, de precipitação, tipo de vegetação, o clima, entre outras, da região onde esse será plantado, a fim de escolher as variedades de capim compatíveis com tais aspectos.

A Tab. 18.20 mostra algumas características do capim elefante.

Tabela 18.20 – Características do capim elefante [60]

ELEMENTOS	CAPIM ELEFANTE
CARBONO (%)	41,2
HIDROGENIO (%)	5,6
NITROGENIO (%)	1,8
OXIGENIO (%)	51,4
UMIDADE (%)	75,8
CARBONO FIXO (%)	8,4
MATÉRIA VOLÁTIL (%)	82,6
CINZAS (%)	10,9

Ele atinge de 3 a 5 metros de altura, necessitando de pequenas áreas de terra para o seu plantio. A cultura de capim elefante é altamente eficiente na fixação de gás carbônico para a produção de biomassa vegetal durante o processo de fotossíntese.

O capim elefante pode ser usado para geração de energia das seguintes formas:

- Combustão direta;
- Gaseificação;
- Carvoejamento;
- Hidrólise do bagaço para obtenção de álcool.

18.9.4 Soja

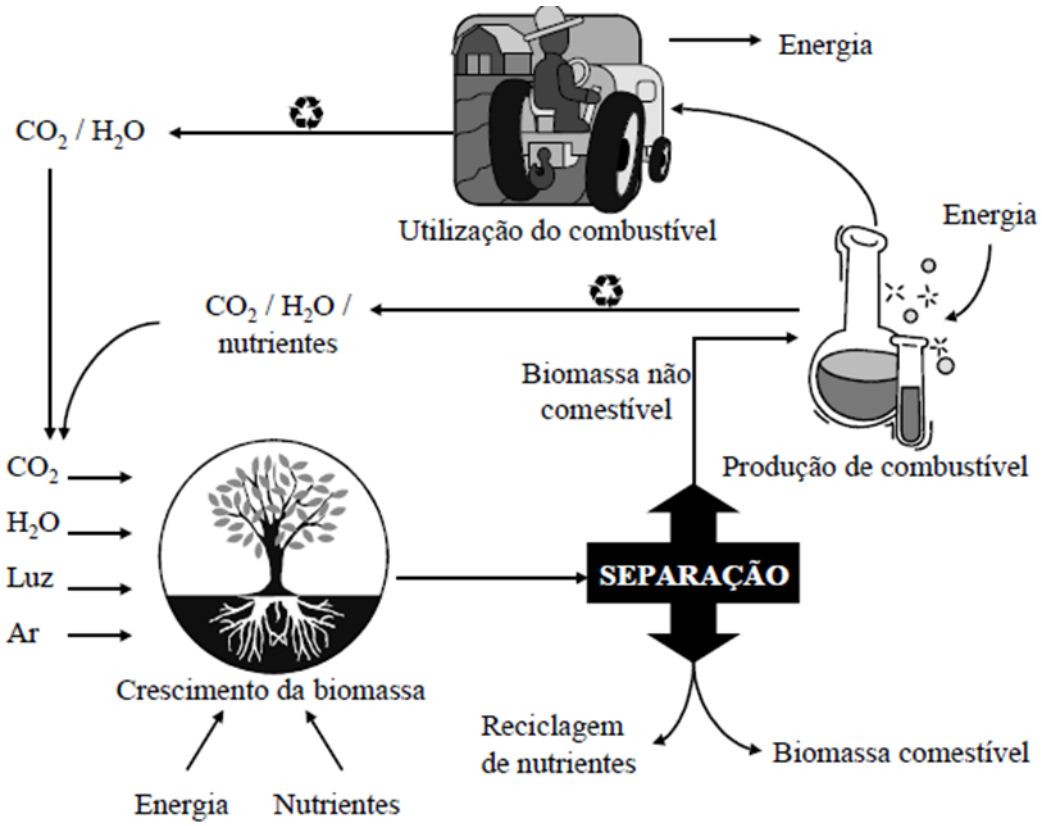
O Brasil é o segundo maior produtor e exportador mundial de soja, apesar do seu cultivo no país ainda ser relativamente recente. Sua plantação é uma monocultura símbolo do agronegócio no país. A produção brasileira atual é de cerca de 75 milhões de toneladas por hectare, sendo superada somente pelos EUA.

A soja é um grão proteico e oleaginoso, que apresenta produtividade média de 3.106 kg por hectare. Ela é utilizada principalmente para alimentação animal e produção de óleo vegetal, embora tenha outras aplicações importantes, como alimentação humana, produção de biocombustíveis, cosméticos, entre outros.

O biodiesel de soja apresenta uma redução de 57% na emissão de poluentes, se comparado ao diesel. [61]

A Fig. 18.57 apresenta o ciclo da soja, com destaque para a produção de combustível.

Figura 18.57 – Produção sustentável de biocombustível em um sistema produção-conversão integrada de biomassa [62]



No que se refere ao custo de produção do óleo, a soja não se apresenta como melhor alternativa se comparada a outras oleaginosas, mas se destaca por outros aspectos, como sua escala de produção, as opções de conversibilidade do produto e a forma como está estruturado o seu complexo.

Da produção nacional de biodiesel, 82% provêm do óleo de soja, mesmo ela sendo uma das plantas que menos rendem óleo, como mostra a Fig. 18.58.

Figura 18.58 – Plantas do biodiesel [63]

Plantas do biodiesel	SOJA	ALGODÃO	GIRASSOL	MAMONA	PINHÃO-MANSO	DENDÊ
% de óleo	18 - 20	15 - 20	40 - 45	45 - 50	30 - 39	18 - 22
Kg de óleo por hectare	400	350	700	700	1.500	5.000

A soja é plantada visando a obtenção do seu farelo, usado como ração animal e vendido no mercado internacional, e não para a obtenção do óleo, sendo esse apenas uma consequência aproveitada pelos produtores.

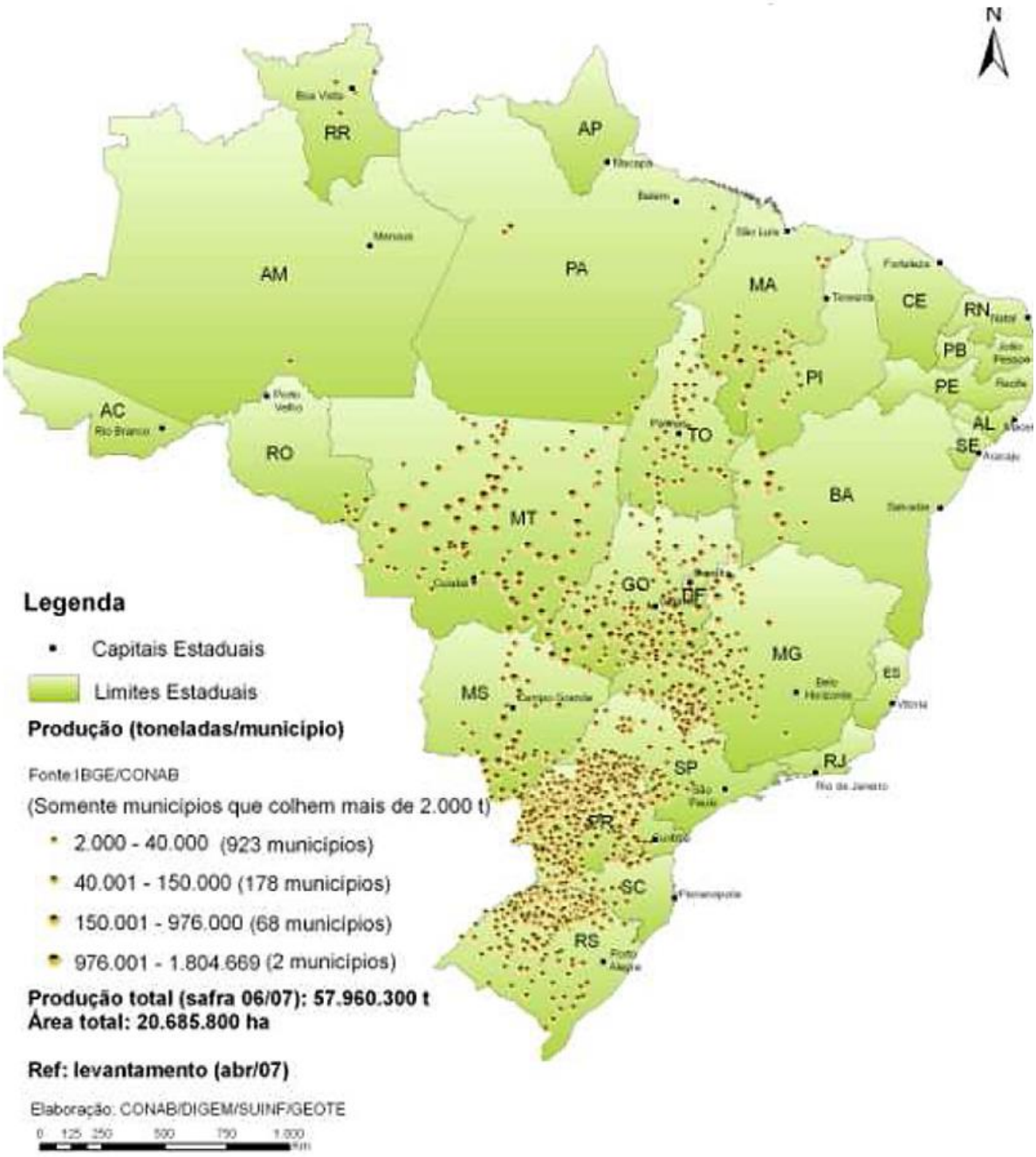
Atualmente, de acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a soja ocupa 23,6 milhões de hectares no Brasil, o que equivale a 49% da área destinada ao plantio de grãos no país. [63]. Na Tab. 18.21 é possível ver os dados do cultivo de soja no país.

Tabela 18.21 – Evolução da produção, área plantada e produtividade da soja no Brasil [64]

Safra	Produção (milhões t)	Área Plantada (milhões há)	Produtividade (kg/ha)
1990/91	15,39	9,7	1.580
1995/96	23,19	10,7	2.175
2000/01	38,43	14,0	2.751
2003/04	49,79	21,4	2.329
2005/06	55,03	22,7	2.419
2007/08	60,02	21,3	2.816
2008/09	57,63	21,56	2.674

O mapa da Fig. 18.59 mostra as principais áreas de produção de soja no Brasil, no qual percebe-se a concentração do cultivo que ocorre na região sul e também, em menor quantidade, nas áreas centrais do país. O maior produtor é o estado de Mato Grosso.

Figura 18.59 – Produção de soja no Brasil [64]



18.9.5 Eucalipto

O eucalipto é uma planta de origem australiana que adapta-se a praticamente todas as condições climáticas.

O cultivo do eucalipto começou no Brasil, no ano de 1909 e hoje o município de Itamarandiba, em Minas Gerais, é um dos maiores produtores do país.

No Brasil, existe um potencial de 3 mil MW em resíduos de biomassa de eucalipto que estão localizados em 5 milhões de hectares de reflorestamento pertencentes a empresas de papel e celulose. [65]

Uma árvore de eucalipto demora em média 20 anos para crescer em países europeus, enquanto aqui no Brasil esse tempo cai para 7 anos, graças ao seu clima tropical.[10] Além disso, os plantios feitos em solo brasileiro produzem uma quantidade de biomassa maior do que no resto do mundo, basicamente pelo clima, disponibilidade de terra e competência florestal das empresas do setor. São produzidos aqui, em média, 41 metros cúbicos de celulose (m^3) por hectare.

Por suas características, o eucalipto vem ganhando importância estratégica como combustível, sendo considerado uma excelente fonte de matéria-prima para a produção de carvão vegetal.

O setor siderúrgico demanda de grande quantidade de carvão, usado na redução do minério de ferro, utilizando para tal a madeira de florestas nativas. Hoje esse cenário está mudando, com o uso crescente de florestas plantadas, na sua grande maioria do gênero *Eucalyptus*.

A Tab. 18.22 apresenta os dados de florestas de Eucalipto plantadas no país.

Tabela 18.22 – Florestas plantadas com Eucalipto no Brasil [66]

Estados	Eucalipto (ha)
MG	1.278.212
SP	934.360
PR	142.434
SC	77.436
BA	587.606
RS	277.316
MS	265.254
ES	210.409
PA	136.294
MA	111.117
AP	63.309
GO	56.881
MT	58.580
Outros	59.496
Total	4.258.704

Na Fig. 18.60, é possível ver um mapa que mostra áreas que possuem potencialidade técnica para plantação de eucalipto para fins energéticos e na Tabela 18.23 é mostrada a superfície disponível para tal.

Figura 18.60 – Distribuição da disponibilidade de terra potencial para florestas plantadas com fins energéticos no Brasil [57]

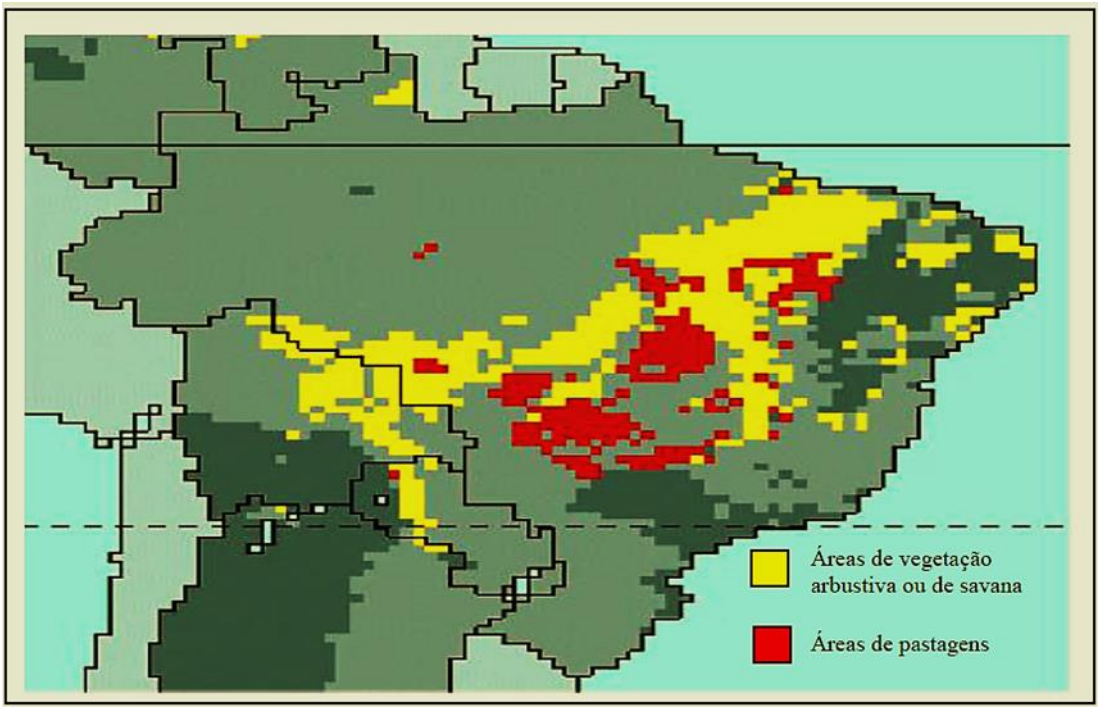


Tabela 18.23 – Superfícies com potencialidade técnica para plantios florestais energéticos em alguns Estados do Brasil (em milhões de hectares) [57]

Estado	Superfície
Mato Grosso	14,2
Tocantins	10,7
Maranhão	9,9
Piauí	8,1
Goiás	6,0
Minas Gerais	5,9
Bahia	3,0
Mato Grosso do Sul	2,5
Pará	2,0
Rondônia	1,4
Ceará	1,4
Rio Grande do Norte	1,0
Roraima	0,6
Paraíba	0,3
Amazonas	0,1

18.9.6 Ações relacionadas ao uso de madeira para energia [53]

a) Desmistificar, retirar da marginalidade e valorizar o conceito de uso da madeira para energia;

b) Melhorar a obtenção e o tratamento das estatísticas de oferta e consumo;

c) Agregar a lenha como produto do manejo e do uso múltiplo da floresta;

c) Incentivar o plantio de florestas de rápido crescimento para atendimento energético;

d) Manejar, de forma sustentada, as florestas nativas para fins energéticos;

e) Induzir a uma maior intensificação de uso dos resíduos florestais e industriais para fins energéticos;

f) Induzir e estimular o pequeno e médio agricultor na missão da produção e oferta de madeira para fins energéticos;

g) Organizar e otimizar a "indústria da lenha";

h) Agregar a obtenção de madeira para energia nos processos relacionados ao mercado de carbono;

i) Melhorar a eficiência dos processos de conversão energética da madeira e ampliar a aplicação dos processos já existentes para tal;

j) Mudar os padrões tecnológicos atuais de produção de carvão vegetal, incluindo a recuperação maciça dos gases de carbonização;

k) Induzir estudos, pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos na área de aplicação de madeira para energia;

l) Estabelecer programas de extensão e de educação relacionados ao uso da madeira para energia; e

m) Definir políticas quanto ao uso de madeira para energia e efetivamente aplicá-las de forma conjugada, envolvendo tanto o setor florestal como o setor energético.

Capítulo 19: Gaseificação por plasma[19]

19.1 Sumário executivo

A gaseificação por plasma térmico é uma tecnologia emergente e com aplicação em diversas áreas, sendo de interesse neste trabalho suas aplicações com fins energéticos.

O uso do plasma na gaseificação de resíduos sólidos urbanos se mostra uma possível solução ao problema gerado pela acumulação de lixo nas cidades, além de uma alternativa de produção de energia mais ambientalmente favorável.

O processo de gaseificação por plasma se dá através da ionização de um gás, transformando-o em plasma, conhecido como o quarto estado da matéria. O plasma é um gás a alta temperatura, eletricamente condutivo, constituído de partículas carregadas e de nêutrons. Sua energia é usada para quebrar as ligações entre moléculas dos materiais. O gás formado é chamado de gás de síntese, ou *syngas*, e tem alto poder energético. Os compostos inorgânicos dão origem a um composto vítreo de alta dureza, que pode ser usado na construção civil.

A produção de energia através da gaseificação por plasma pode ser feita pelo uso do *syngas* em termoelétricas, na geração de vapor, no uso em motores e na síntese de combustíveis, como o etanol.

Vários estudos têm sido feitos para o desenvolvimento da tecnologia e muitas plantas já estão em atividade ao redor do mundo, transformando lixo em energia.

Ainda são necessários investimentos em pesquisa e incentivos do governo para que os custos sejam reduzidos e o processo se torne viável economicamente, mas as vantagens da gaseificação por plasma são amplas. Entre elas estão a redução do volume do resíduo acima de 90%, o menor custo com a limpeza dos gases, recuperação da energia do lixo e formação de materiais com valor agregado.

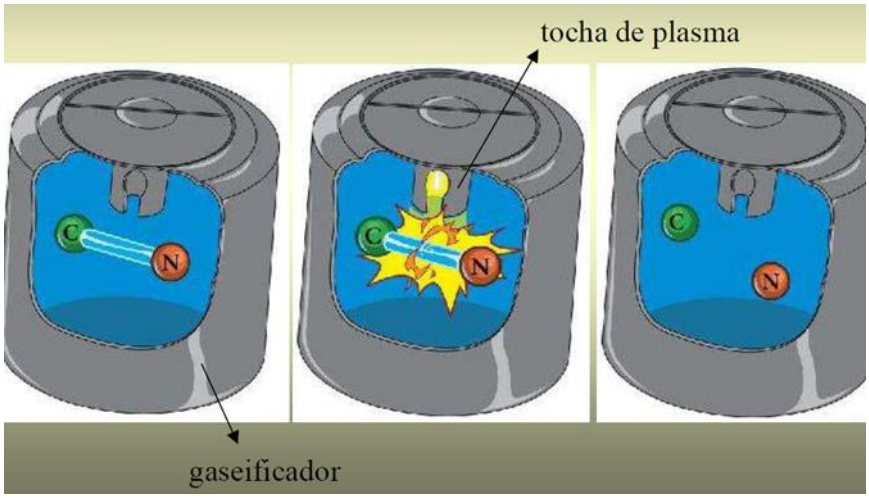
19.2 Descritivo básico

A gaseificação por plasma é um processo termoquímico que ocorre a altas temperaturas e com baixa injeção de oxigênio. Ela consiste em transformar determinado material em uma mistura combustível de gases, chamada gás de síntese. Com a alta temperatura o material passa do estado sólido ao plasmático sem que sua queima ocorra.

O uso de altas temperaturas combinado com a baixa concentração de oxigênio resulta na decomposição do material em suas moléculas mais simples, como pode ser visto na figura 19.1. Depois, este é resfriado rapidamente, para evitar que suas moléculas se recombinem. Esse processo forma um gás composto por monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H_2) com alto teor de energia, ou seja, suas moléculas orgânicas se volatilizam, ocorrendo a gaseificação do resíduo.

[19] Trabalho realizado pela estagiária Júnia Pereira, em 2012.

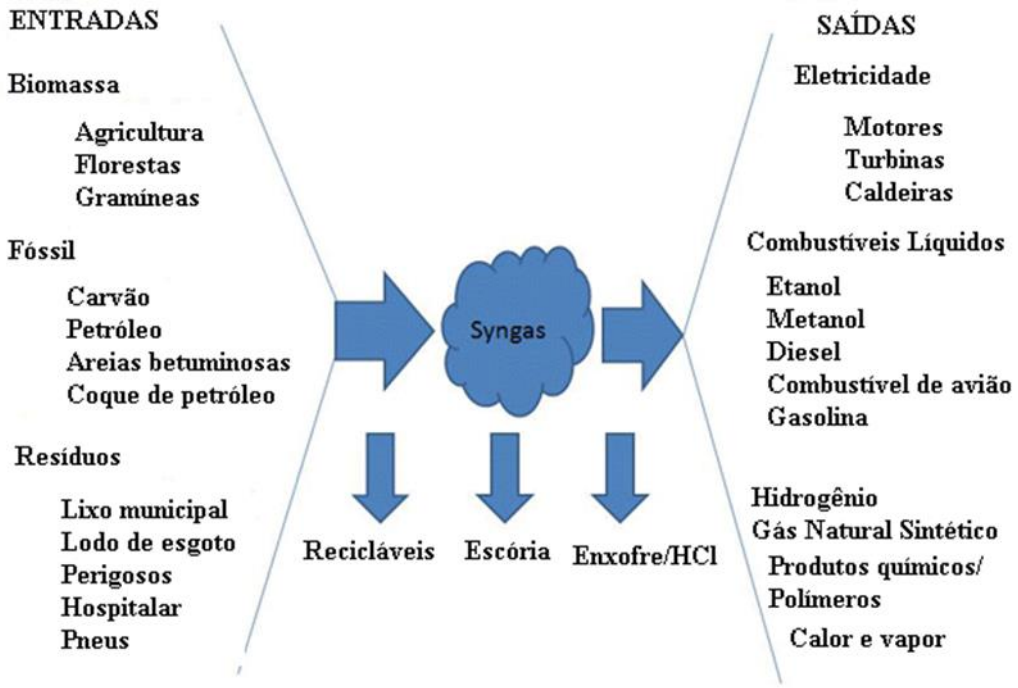
Figura 19.1 – Processo de gaseificação por plasma [18]



Os materiais não decompostos por pirólise, como os compostos inorgânicos, são reduzidos a produtos inertes e dão origem a uma lava que se vitrifica ao se resfriar ou se transformam em uma substância dura férrea.

Na figura 19.2 é possível ter uma ideia global do processo, com seus possíveis insumos e produtos.

Figura 19.2 – Gaseificação por plasma: possíveis insumos e produtos (adaptado) [9]



19.3 Metodologia

Para o desenvolvimento deste relatório foi feito um levantamento inicial de referências bibliográficas em sites da internet. Posteriormente, fez-se um refinamento das fontes encontradas e um encadeamento de informações para a produção do texto.

Realizou-se uma pesquisa descritiva do processo de gaseificação por plasma térmico, procurando ressaltar os aspectos mais relevantes da tecnologia de forma qualitativa.

19.4 Histórico

No fim do século XIX, a gaseificação apareceu como o primeiro processo termoquímico industrial. Era mais utilizada para produção de óleo e gás através do carvão. Após a Segunda Guerra Mundial, os preços do petróleo caíram, o que fez com que a gaseificação entrasse em declínio. O uso para produção de combustíveis sintéticos teve início na década de 70, sendo essa sua maior utilização até os dias atuais. Na década de 80, os Estados Unidos, Europa e Japão começaram a desenvolver a tecnologia para uso em tratamento de lixo.

Já os primeiros usos da tecnologia de plasma térmico datam do século XIX. Os equipamentos de plasma eram utilizados em diversas aplicações, como na área de tratamento de resíduos e nas indústrias química e metalúrgica. Aquecedores a plasma foram utilizados, no começo do século XX, para produção de combustíveis na indústria química. Durante a década de 70, foram construídos pequenos protótipos de aquecedores a plasma e na década seguinte foram construídas plantas de grande porte. [19]

Inaugurada em 2002, está localizada no Japão a primeira planta comercial de gaseificação por plasma utilizando lixo, em Utashinai2. A gaseificação utilizando resíduos sólidos municipais tem sido mais aplicada no Japão, onde a falta de espaço obriga o país a achar soluções para o armazenamento do lixo.

19.5 O plasma

O plasma é o quarto estado da matéria, além do sólido, líquido e gasoso. Quando a matéria está sob a forma de plasma sua temperatura é muito elevada, o que causa uma agitação térmica capaz de vencer a força que une o núcleo as suas partículas subatômicas. Isso faz com que ela se torne um gás ionizado, ou seja, seus átomos estão completamente dissociados em núcleos e em elétrons. Como contém elétrons livres, ele conduz eletricidade. [22]

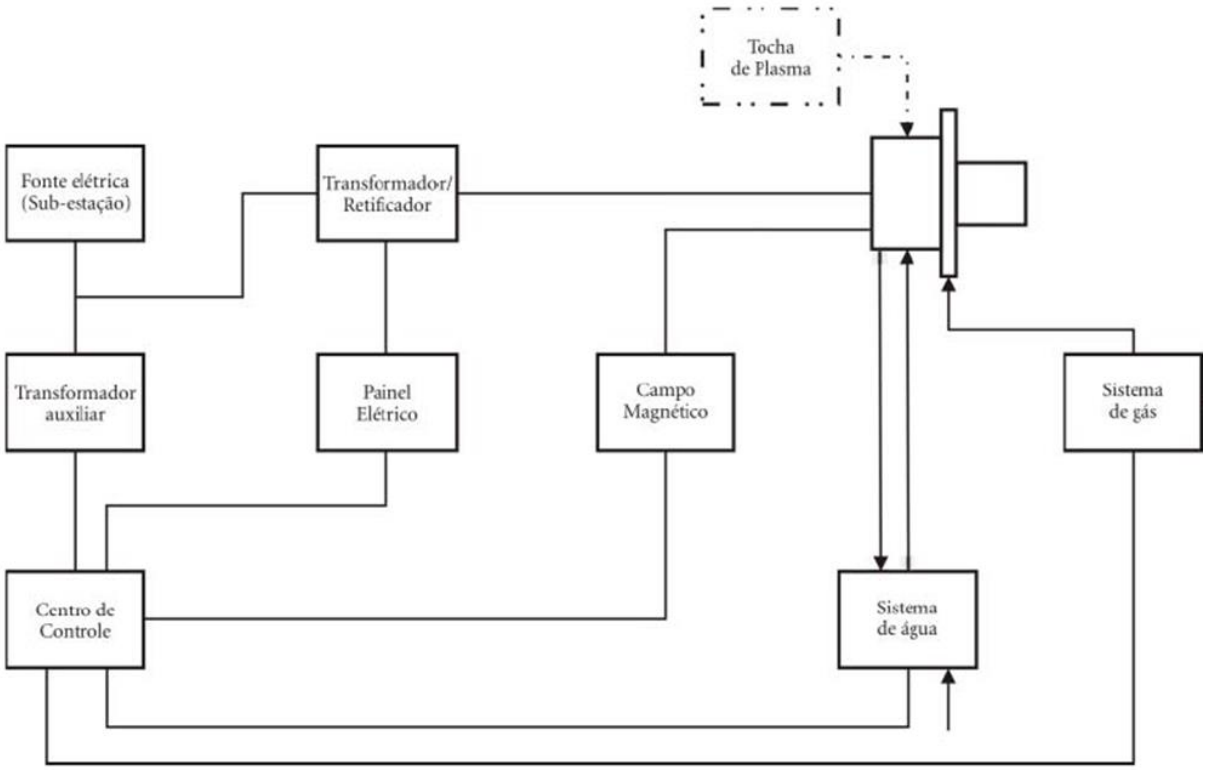
Em geral, o plasma é produzido por descargas elétricas, se caracteriza pela sua alta densidade e pela proximidade do estado de equilíbrio termodinâmico local, ou seja, a proximidade entre as temperaturas dos elétrons e das partículas pesadas.

19.6 Componentes de um sistema de gaseificação por plasma

Um sistema de gaseificação por plasma consiste basicamente em tocha de plasma, uma fonte de energia, unidade de controle, sistema de suprimento de gás, sistema de suprimento de água, transformador, retificador de campo magnético e sistemas de mecanização. [13]

Um esquema da unidade de processo pode ser visto na figura 19.3.

Figura 19.3 – Esquema de unidade de processo [13]



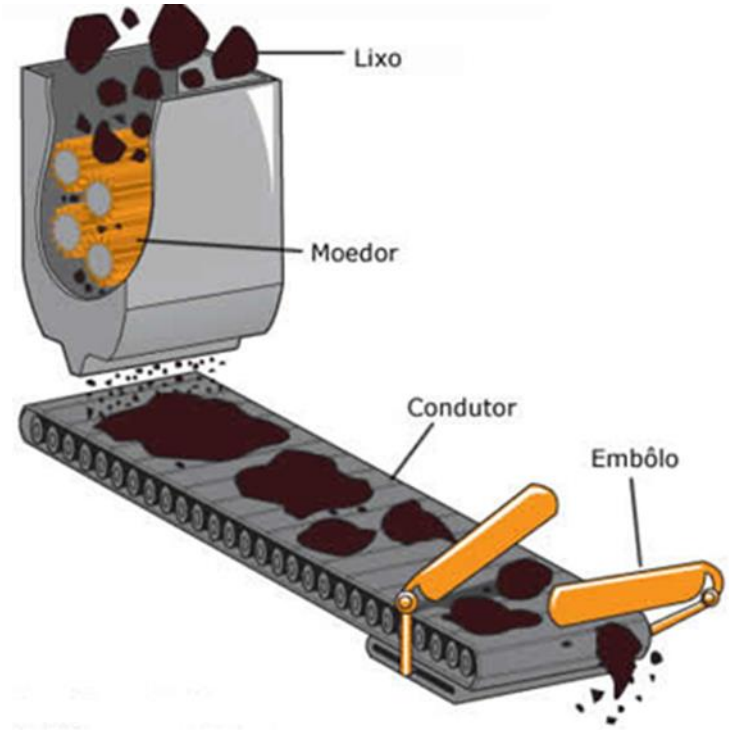
Os principais componentes de um sistema de gaseificação por plasma são apresentados a seguir.

19.6.1 Sistema condutor [2]

O sistema condutor tem a função de transportar o lixo para dentro do gaseificador por plasma. O resíduo passa por um moedor, cai no condutor e posteriormente um êmbolo o empurra diretamente para o forno ou sistema de pré-tratamento, se houver.

Na figura 19.4 está representado o sistema condutor.

Figura 19.4 – Sistema condutor [2].



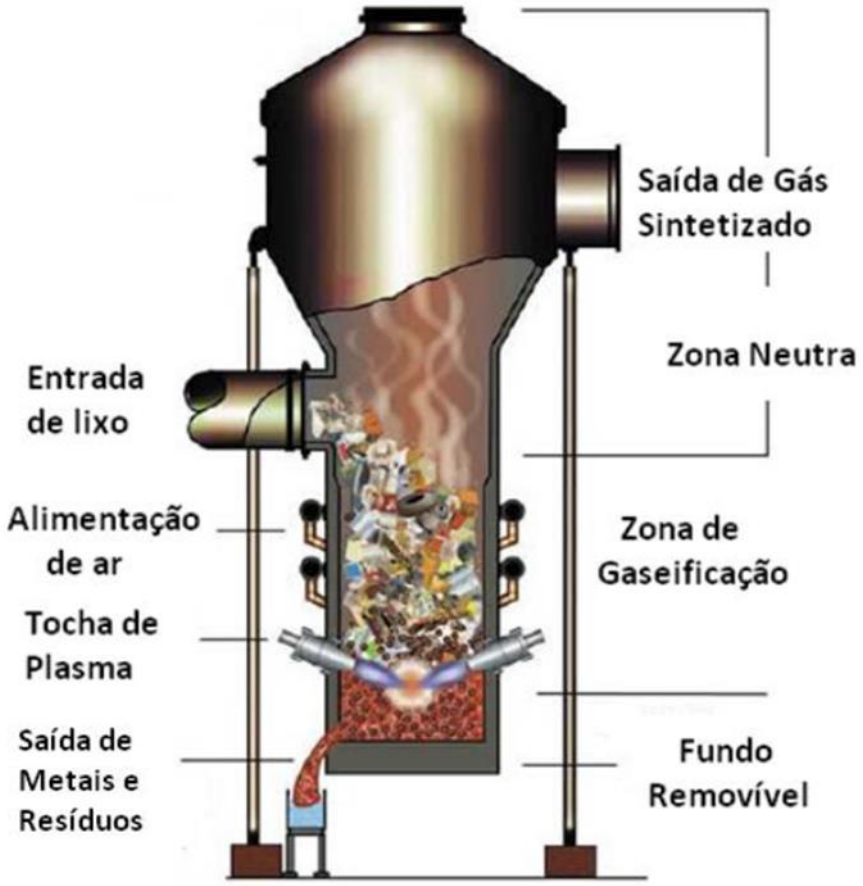
19.6.2 Sistema de pré-tratamento

Os sistemas de pré-tratamento são utilizados pela maioria das instalações. Eles são usados para aumentar a eficiência de todo o processo, pois reduzem o tamanho dos pedaços de lixo, antes desses serem jogados no forno, usando-se britadeiras, por exemplo. Isso aumenta a velocidade da quebra dos pedaços de lixo pela tocha de plasma. São separados todos os metais, vidros e outros produtos inorgânicos que não têm valor como combustível. Produtos valiosos para reciclagem são separados para venda.

19.6.3 Gaseificador

O componente básico de um sistema de gaseificação por plasma é um forno, chamado gaseificador, que contém tochas de plasma. O equipamento exporta 80% da energia inserida para o gás sintetizado [16]. As tochas de plasma estão localizadas ao redor da periferia, próximas do fundo do gaseificador, como mostra a figura 19.5.

Figura 19.5 – Gaseificador de plasma [31]



No gaseificador ocorre a gaseificação, que é um processo de conversão termoquímica que maximiza a conversão do combustível carbonoso para um gás de síntese (*syngas*) contendo principalmente CO e H_2, e em menores quantidades CO_2, CH_4 e N_2.

As fórmulas químicas de conversão seguintes descrevem, em geral, o processo para a geração de gás de síntese ideal que ocorre dentro do reator:

$2\ H_2O$ + energia → $2H_2 + O_2$

C (matéria-prima) + H_20 (vapor, ar ou oxigênio) + energia → CO + H_2 (endotérmico)

C + CO_2 + energia → 2CO (endotérmico)

C + $2H_2$ → CH_4 + energia (exotérmica) [12]

O calor das tochas aquece uma base de coque e a temperatura no centro da base de coque chega a 3.000 °C. Acima e abaixo do topo da base de coque estão localizadas entradas de ar e/ou oxigênio.

Depois de o lixo ter sido convertido em gás sintetizado, ele sai pelo topo do reator, quando vários processos de limpeza do gás são realizados, antes que ele possa ser utilizado e transformado em produtos energéticos.

As altíssimas temperaturas dentro do gaseificador garantem que ocorra a total conversão do material orgânico em gás sintetizado e que o material que não pode ser gaseificado seja derretido e flua para fora do reator. Além disso, quando o material fica longos tempos no gaseificador, isso garante o craqueamento de quaisquer resíduos e a minimização das partículas voláteis [31].

Quando o lixo entra no forno ele se gaseifica imediatamente ou então cai no leito-base de coque, onde sua gaseificação completa ocorre.

Os gaseificadores são forrados com material refratário e muitos possuem um sistema de resfriamento de água, por causa do intenso calor gerado.

Os subprodutos sólidos do processo de gaseificação por plasma são metais recuperados e escória. Os constituintes não gasosos, inorgânicos e minerais dos resíduos são convertidos em uma escória vitrificada, compostos de metais e de vidro de sílica. A figura 6 mostra um exemplo de produto da conversão via plasma. Este material vitrificado pode ser usado para produzir metais e outros subprodutos, incluindo lã de rocha, ladrilhos ou telhas. [26]

Figura 19.6 – Produto da conversão via plasma [27]

Na combustão as dioxinas irão se formar se o processamento de materiais contiver átomos de cloro. As dioxinas se formam em temperaturas inferiores a 250 ºC, temperaturas típicas do processo de combustão. No gaseificador de plasma, as temperaturas facilmente excedem esse limite, fazendo com que os materiais clorados dissociem-se em átomos de cloro e que o cloro combine-se com o hidrogênio, para formar HCl, que é removido no tratamento de gases e no lavador com o NaOH para formar um sal benigno, ou ainda cal é introduzido no gaseificador, o que faz com que o cloro combine-se com o cálcio e fique retido na escória de silicato.

Para formar dioxinas é necessária a presença de hidrocarbonetos, do cloro, de uma "superfície" (as partículas), de um catalisar (cobre, níquel, ferro) e de uma faixa de temperaturas entre 250 ºC a 450 ºC.

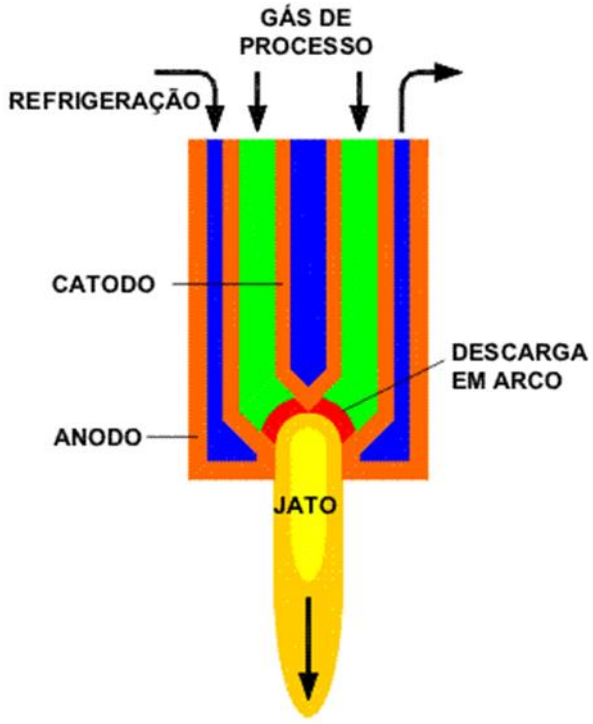
As dioxinas e os furanos não se formam no processo de gaseificação por plasma por dois motivos principais: 1) as temperaturas elevadas destroem os compostos de dioxinas e furanos; 2) a falta de oxigênio no ambiente impede a formação de cloro livre do HCl, limitando assim a cloração de quaisquer precursores do gás de síntese [12].

19.6.4 Tocha de plasma

A tocha de plasma é o componente ativo do reator e sua função é transformar energia elétrica em calor transportado por um gás.

Dentro da tocha de plasma dois eletrodos são utilizados para criar um arco elétrico que interage com um gás, geralmente o ar, criando uma corrente de plasma. As tochas de plasma usam 2% a 5% da energia inserida [31]. A interação entre o gás e o arco elétrico torna o gás condutivo, tanto elétrica como termicamente, pois o gás se dissocia em íons e elétrons. Na figura 19.7 é possível ver um exemplo de uma tocha de plasma.

Figura 19.7 – Tocha de Plasma [30]

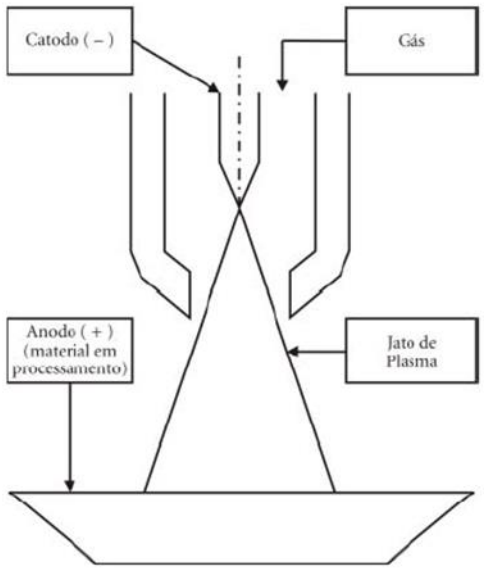


Nesse processo são alcançadas temperaturas altíssimas, da ordem de 15.000 °C, embora temperaturas de até 50.000 °C sejam obtidas. A alta densidade de energia das tochas de plasma possibilita a diminuição das dimensões do gaseificador, mantendo-se sua capacidade, uma vantagem em relação aos incineradores convencionais.

As tochas a arco elétrico podem ser classificadas em dois tipos de arco:

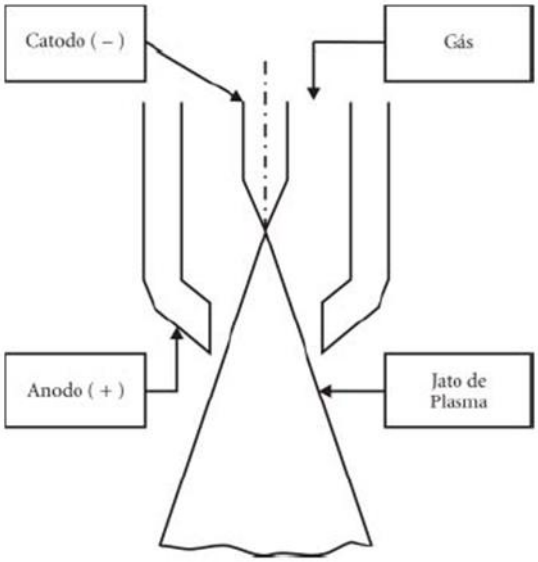
Arco transferido: quando é utilizado um eletrodo emissor, estando o receptor do arco localizado fora da tocha. O circuito elétrico fecha-se entre o catodo (na tocha) e a peça ou material a ser processado (anodo). É utilizado para corte e fusão de metais. A figura 19.8 ilustra uma tocha de plasma de arco transferido. [13]

Figura 19.8 – Arco transferido [13]



Arco não transferido: quando é produzido no interior do dispositivo de geração que contém os eletrodos e do qual sai gás aquecido. O circuito elétrico fecha-se entre os eletrodos na própria tocha, como mostra a figura 19.9. É utilizado para aquecimento de gases e deposição de materiais [13].

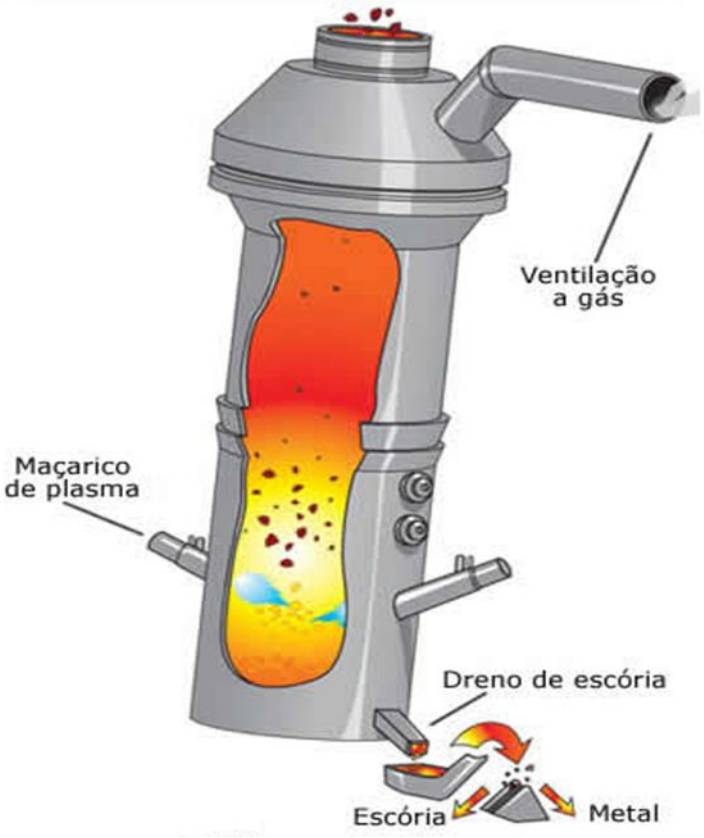
Figura 19.9 – Arco não transferido [13]



19.6.5 Drenagem da escória

A escória tem que ser drenada ocasionalmente, uma vez que ela se funde e acumula no fundo do forno. No interior do gaseificador ela ajuda na manutenção da alta temperatura. Após sua retirada, a escória é levada para uma câmara separada, onde é resfriada. A figura 10 ilustra como se dá o dreno da escória.

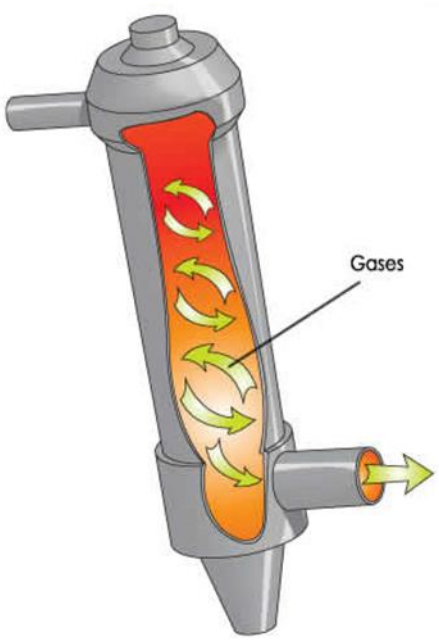
Figura 19.10 – Sistema de drenagem da escória [2]



19.6.6 Ventilação do gás

Para permitir a passagem dos componentes gaseificados para um dispositivo de pós-combustão ou uma câmara de purificação de gás o forno tem um sistema de abertura, como pode ser visto na figura 19.11:

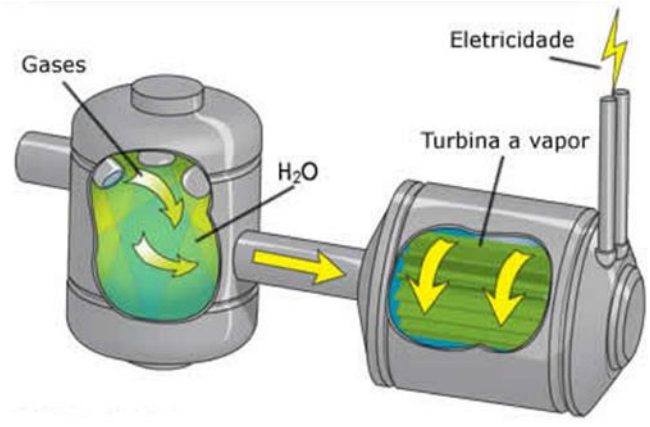
Figura 19.11 – Sistema de ventilação de gás [2]



19.6.7 Pós-combustão

Uma segunda câmara pode ser utilizada para queima do material orgânico que restou nos gases expelidos, usando o gás natural como combustível. Então esses gases quentes passam por um trocador de calor, por meio do qual água é aquecida, transformando-se em vapor a ser utilizado para girar uma turbina. A turbina acoplada ao eixo de um gerador produzirá energia elétrica, como apresenta a figura 19.12.

Figura 19.12 – Turbina a vapor acoplada a câmara de pós-combustão [2]



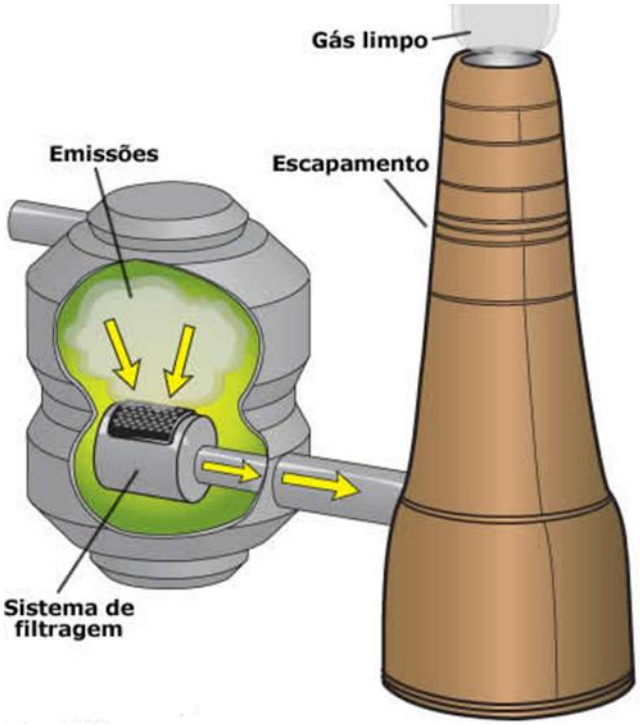
19.6.8 Purificação do gás de síntese

No processo de purificação, os gases são resfriados e purificados em outra câmara, geralmente com o uso de água, o que elimina partículas e poluentes dos gases. Sais inertes são formados a partir do ácido presente nos gases através da utilização de filtros.

O sistema pode conter ainda uma turbina a gás acoplada a um gerador ou um sistema de aproveitamento de gases para gerar vapor.

Se a indústria usa um dispositivo de pós-combustão os gases restantes desse processo devem ser limpos para que fiquem isentos de quaisquer materiais perigosos. É utilizado um sistema de purificação a seco, que injeta carbono pulverizado nos gases, a fim de eliminar o mercúrio. Um sistema de filtragem também é usado para outras partículas que apresentam perigo de contaminação ou poluição. Finalmente, os gases purificados são liberados para a atmosfera, como pode ser visto na figura 19.13:

Figura 19.13 – Sistema de purificação de gases [2]



19.7 Os Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos urbanos são o combustível mais heterogêneo possível, pois são compostos de todos os tipos de lixo. É preciso analisar o fluxo de resíduos, a umidade e os diferentes poderes caloríficos dos seus constituintes, pois esses fatores geram um impacto global no processo.

O lixo mais apropriado para geração de energia é o seco e orgânico. O lixo orgânico é todo aquele que tem origem vegetal ou animal, como sementes, folhas, restos de alimentos, madeira e papéis.

Esse tipo de lixo é considerado poluente e pode se tornar um ambiente propicio ao desenvolvimento de microrganismos causadores de doenças se não for armazenado com os cuidados necessários.

Quando não utilizados, os resíduos apresentam uma enorme perda de recursos, tanto de materiais, como de energia. O Poder Calorífico médio do lixo domiciliar situa-se na faixa de 5.000 kcal/kg [38].

Para o aproveitamento do resíduo, primeiramente o material passa pela gaseificação com o uso da tocha de plasma, a qual produz uma parte gasosa e uma parte sólida inorgânica. Em uma segunda câmara, a parte sólida é fundida por ação das altas temperaturas produzidas por outra tocha de plasma, o que resulta em um produto na forma de lava vulcânica que depois se transforma em uma massa vitrificada inerte e de difícil lixiviação, o que diminui consideravelmente o volume dos resíduos. Na terceira câmara segue a parte gasosa, que dá origem ao gás de síntese. [32]

19.7.1 O potencial energético dos resíduos no Brasil

No Brasil, o aumento do poder aquisitivo da população tem gerado o aumento do consumo de bens e consequentemente mais lixo é produzido. Isso gera impacto ambiental e dificulta o gerenciamento de resíduos.

O Brasil produz diariamente 161.084 toneladas de resíduos sólidos urbanos. Com isso seria possível gerar mais de 5.000 MW utilizando o lixo na produção de eletricidade [8].

19.7.2 O potencial energético dos resíduos em Minas Gerais

O governo do estado busca novas tecnologias para disposição final dos resíduos sólidos urbanos e aponta isso como um tema prioritário na a gestão de Minas Gerais.

O estado de Minas Gerais produz cerca de 20 mil toneladas de lixo por dia e apresenta aproximadamente 230 lixões no estado. Somente na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), são produzidas 4.871 toneladas por dia, sendo que a metade é disposta de forma incorreta, em lixões ou aterros controlados [15].

A cidade de Itabirito, a 55 km de Belo Horizonte, será a primeira no estado a receber uma usina de gaseificação por plasma. A princípio ela processará 200 toneladas de lixo por dia, com possibilidade de aumento em sua capacidade. A energia gerada será utilizada por grandes empresas próximas da região [17].

19.8 Situação no mundo

Em 2002, duas plantas comerciais de geração de energia a partir do lixo foram inauguradas e têm operado com sucesso no Japão. A indústria no parque industrial Mihama-Mikata pode processar mais de 24 toneladas por dia de resíduos e 4 toneladas/dia de iodo vindo do esgoto, o que gera vapor e água quente para uso local. Uma foto da usina pode ser vista na figura 19.14. A indústria de gaseificação por plasma em Utashinai processa até 300 toneladas/dia de resíduos. Ela produz até 7,9 megawatts de eletricidade, dos quais 3,6 MW são usados para suprir a demanda energética das tochas de plasma e das plantas, e até 4,3 MW são enviados para a rede de energia elétrica [2].

Figura 19.14 – A usina de gaseificação por plasma de Mihama-Mikata no Japão [2]

Em Ottawa, no Canadá, uma instalação de demonstração processa 94 toneladas de lixo por dia, e envia 4 MW de energia à rede. Já na Índia, duas plantas estão em operação, cada uma processa 68 toneladas por dia de resíduos, gerando energia. [36]

Muitas regiões dos Estados Unidos estão começando a perceber a gaseificação por plasma como uma solução para seus resíduos gerados. Muitas companhias como a GeoPlasma, StarTech, Recovered Energy, Inc. e Plasco Energy Group são pioneiras em levar esta tecnologia para o uso comercial.

Há ainda plantas de gaseificação por plasma no Reino Unido, Noruega, Israel, bem como Alabama e Illinois. A Tabela 19.1 mostra as dez maiores usinas de gaseificação por plasma no mundo.

Tabela 19.1 – As 10 maiores plantas de gaseificação por plasma do mundo [9]

Location	Capacity kTpa	Process	Date	Type
SVZ, Germany	250,000	Envirotherm BGL	2001	Gasification + Melting
Karlsruhe, Germany	225,000	Thermoselect	2001	Gasification + Melting
Ibaraki, Japan	135,000	Nippon Steel	1980	Gasification + Melting
Aomori, Japan	135,000	Ebara	2001	FB gasification + Combustion + Melting
Kawaguchi, Japan	125,000	Ebara	2002	FB gasification + Combustion + Melting
Toyohashi, Japan	120,000	Mitsui	2002	Pyrolysis + Combustion + Melting
Akita, Japan	120,000	Nippon Steel	2002	Gasification + Melting
Oita, Japan	115,000	Nippon Steel	2003	Gasification + Melting
Chiba, Japan	100,000	Thermoselect	2002	Gasification + Melting
Hamm, Germany	100,000	Techtrade	2002	Pyrolysis + Combustion

Nem todas as pesquisas de gaseificação por plasma visam a produção de energia elétrica ou de produtos energéticos, mas essas também se mostram relevantes na área, uma vez que o desenvolvimento da tecnologia contribui para tornar os processos com aplicação energética mais eficientes.

No mundo, uma das principais empresas envolvidas em pesquisa e desenvolvimento de equipamentos é a *Scan Arc Plasma Technologies*, da Suécia. A empresa utiliza um sistema chamado *Pyroarc*, que consiste em duas etapas distintas de tratamento. Os resíduos sólidos são inseridos numa primeira câmara para gaseificar a parte orgânica num gás parcialmente oxidado e fundir a parte inorgânica. Este gás e líquidos gerados são depois decompostos numa segunda câmara, recorrendo a um reator de plasma.

Já a empresa *InEnTech*, dos Estados Unidos, foi fundada em 1995. Seu sistema foi patenteado em 1998 e aplicado em duas plantas nos Estados Unidos. No entanto, as duas plantas fecharam, devido a dificuldades técnicas. O sistema é projetado para lidar com diferentes tipos de resíduos, desde resíduos sólidos urbanos aos resíduos perigosos.

A planta piloto *InEnTec* tem uma capacidade de 25 toneladas por dia e está localizado em Richland, no estado de Washington. Diferentes matérias-primas sólidas (biomassa, resíduos sólidos urbanos, resíduos hospitalares, com diferentes valores calóricos) foram testadas. O material é cortado em pedaços menores antes de entrar no gaseificador de modo a permitir uma boa mistura dos resíduos.

A empresa Europlasma é francesa e utiliza tocha de plasma de arco não transferido no reator. A Europlasma desenvolveu uma tocha de plasma especial para craquear o gás de síntese. O processo inclui um permutador de calor que recupera o calor sensível do gás produzido, poeira e ácidos e, finalmente, motores a gás para produzir eletricidade a partir do *syngas*.

A Plasco é uma companhia do Canadá, que tem uma planta de demonstração em Ottawa, desde 2008. A usina é capaz de processar 85 toneladas de resíduo por dia e teve um custo de US$ 25 milhões.[11]

Algumas patentes já foram criadas na área, como um bioconversor de resíduos a plasma e um processo para tratamento de resíduos sólidos baseado em reator com tecnologia de plasma vortex. [29]

19.9 Situação no Brasil

No Brasil, os estudos foram iniciados no ano de 1991, através do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) que construiu uma unidade experimental de processamento de resíduo à base de plasma térmico, cuja dedicação gerou frutos na iniciativa privada brasileira [19].

Em 2005, as empresas Klabin, Tetra Pak, Alcoa e TSL Ambiental inauguraram uma nova planta de reciclagem de embalagens longa vida. A fábrica é pioneira no mundo por utilizar a tecnologia de plasma para esse fim e se localiza em Piracicaba, interior de São Paulo. Foram 7 anos de pesquisa e R$ 12 milhões em investimentos. A emissão de poluentes na recuperação dos materiais é quase nula, realizada na ausência de oxigênio e com eficiência energética próxima de 90%. [7]

Em 2006, foi inaugurado o primeiro forno a plasma do Brasil, no município de Resende, RJ. Ele foi desenvolvido pelo Instituto Tecnológico de São Paulo e usa um gás condutor de energia que alcança temperaturas entre 3.000 °C a 15.000 °C na chama do reator. A capacidade de processamento do forno é de uma tonelada por hora. No forno de plasma os resíduos são transformados em pedras inertes, que podem ser aproveitadas na construção civil e na produção de asfalto [1].

A primeira usina de geração de energia a base de lixo do país, através da gaseificação por plasma, entrou em operação no início de 2012, na cidade de Mineiros, no estado de Goiás [14].

As principais pesquisas realizadas no Brasil são feitas pela Universidade do Estado de Santa Catarina que desde 1998 realiza estudos no Laboratório de Física de Plasmas em Joinville através do Departamento de Física do Centro de Ciências Tecnológicas e pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, que mantém desde 1985 o Laboratório de Processamento de Materiais por Plasma, o LabPlasma16. Aplicações de plasmas térmicos também estão sendo desenvolvidas no Instituto de Física da Universidade de São Paulo e no Instituto de Física da Universidade de Campinas.

Entre as empresas envolvidas pode-se citar a Biogroup, que trata dos resíduos orgânicos e inorgânicos para tratamento e gerenciamento de resíduos, a Ecochamas, em Resende-RJ, que projetou e construiu um forno com reator a plasma térmico voltado especificamente para tratar resíduos de lodos galvânicos e de cinzas de incineração e a TSL Engenharia Ambiental, de São Paulo.

19.10 Situação atual

Como um grande problema atual é o lixo urbano, a gaseificação por plasma surge como uma possível solução para eliminação de poluentes e redução de custos, apresentando-se como uma melhor alternativa à incineração.

Cada empresa do setor atingiu uma fase diferente no desenvolvimento do seu processo e a tecnologia da Westinghouse de propriedade de Alter NRG é claramente mais avançada em relação à comercialização e uso de seu sistema.

A Alter NRG utiliza uma tocha de plasma de arco não transferido e o gás de operação é inserido em uma abertura entre os eletrodos. A tecnologia de suas tochas de plasma se desenvolveu muito na última década, especialmente no Japão. A eficiência das tochas chega a 60-75%.

Todo o processo desenvolvido pela Alter NRG se baseia no reator de gaseificação que incorpora a cúpula do reator e as tochas de plasma. A base do reator é uma tecnologia já bem desenvolvida e usada em várias plantas no Japão.

É possível produzir gás de síntese, etanol e eletricidade, usando lixo, biomassa, coque e resíduos perigosos.

Diferentemente de outras empresas do setor, a Alter NRG desenvolveu um gaseificador onde as tochas de plasma estão localizadas em sua parte inferior e são utilizadas até seis tochas.

Um reservatório de coque, dentro da cúpula, contém coque metalúrgico, que absorve e retém a energia do calor das tochas de plasma e ao mesmo tempo forma um “esqueleto”, que suporta a alimentação do resíduo à medida que esse desce através do reator.

A umidade é vaporizada junto com o gás de síntese e o processo é totalmente controlado pelo controle da temperatura dos gases de saída, ou seja, por um ajuste nas tochas de plasma.

Cada tocha é alimentada separadamente e o gaseificador trabalha a uma pressão ligeiramente negativa para evitar o vazamento de gases [11].

19.11 Vantagens

São diversas as vantagens da utilização do plasma para uso da gaseificação da biomassa, dentre elas:

- Redução de volume do material acima de 99% [35], tendo como consequência o baixo uso de áreas de aterro;
- Prevenção da poluição, devido ao gás sintetizado ter baixas quantidades de NOx, SOx, dioxinas e furanos;
- Recuperação de energia do resíduo que seria perdida;
- Maior velocidade do processo químico, devido à alta temperatura do plasma e à alta quantidade de energia;
- Recuperação de áreas degradadas, devido ao processamento de resíduo já depositado;
- Permite fundir e vitrificar certos resíduos orgânicos, os quais podem ser utilizados como material de construção;
- Requer menos investimento para limpeza, reduzindo custos de geração de energia;
- Uma grande variedade de produtos energéticos pode ser obtida a partir do gás sintetizado obtido;
- Operação ocorre a pressões ambientais, permitindo a entrada do lixo de forma simples, sem interrupções do processo.
- Manutenção operacional do sistema de gaseificação pode ser feita enquanto o processo ocorre;
- Grande número de opções de gases para produção do plasma, o que torna o processo flexível;
- O reator de plasma pode processar qualquer tipo de lixo, até mesmo o nuclear;
- Possibilita controle preciso de processo e de temperatura;
- É uma opção sustentável.

19.12 Desvantagens

- A tecnologia só se apresenta rentável quando associada a uma termoelétrica e ainda assim sob determinadas condições;
- Inicialmente, o volume de gases gerados é inferior ao volume gerado na combustão convencional;
- O sistema necessita de um sistema de lavagem de gases, principalmente para a retenção de elevadas concentrações de mercúrio e de gases ácidos;

- Os sistemas dependem de tecnologia de recuperação térmica para eliminação de dioxinas e furanos;

- Há desafios de engenharia na utilização de trocadores de calor a 1500 ° C, por causa dos materiais utilizados. A troca de calor de sub-sistema é uma das áreas que possam se beneficiar de desenvolvimento posterior [30].

19.13 Desafios da gaseificação por plasma

A tecnologia de gaseificação por plasma se mostra promissora e já é uma realidade em alguns países, mas apresenta dificuldades a serem superadas para o total aproveitamento de seu potencial.

A legislação local e as questões de planejamento são os principais empecilhos. A construção de plantas de gaseificação em aterros sanitários já existentes, assim como o uso de infraestrutura já pronta são alternativas que ajudam a facilitar a disseminação da tecnologia.

Outro desafio é a obtenção de financiamento, pois ainda há uma postura conservadora das companhias de lixo, que só agora veem a necessidade de maiores cuidados ambientais para evitar a produção de dióxido de carbono e outros gases poluentes. Também há resistência por parte das indústrias em investir em novas tecnologias.

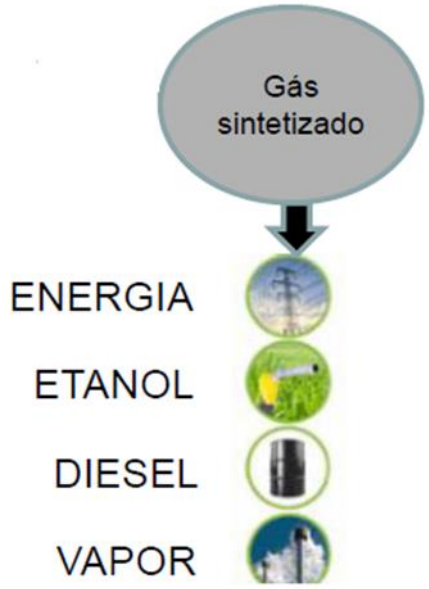
O crescente uso de reciclagem e compostagem também é um desafio, pois reduz o teor de carbono dos resíduos, o que reduz a energia gerada pela conversão do lixo em gás de síntese.

19.14 Principais aplicações

O gás de síntese possui várias aplicações de interesse econômico. Ele pode ser utilizado para produzir energia elétrica ou vapor; pode ser usado em motores a gasolina ou diesel com poucas modificações para o motor quando misturado com ar; pode ser processado para produzir praticamente qualquer tipo de combustível existente atualmente, como propanol, butanol, etanol (álcool combustível), gasolina, gasolina de aviação, diesel e etc.; pode ser refinado em hidrogênio puro e vários produtos químicos.

A figura 19.15 ilustra algumas aplicações:

Figura 19.15 – Aplicações energéticas da gaseificação por plasma (adaptado) [31]



A produção de combustíveis líquidos se dá por duas vias principais nas biorrefinarias. A forma tradicional é utilizar catalisadores para refinar os gases em vários combustíveis. O processo de Fischer-Tropsch é usado, por exemplo, para produção de diesel com baixo teor de enxofre e gasolina a partir do carvão.

A obtenção do metanol é feita tradicionalmente na indústria pela conversão catalítica do gás de síntese. O objetivo agora é controlar a concentração do *syngas* para a produção de etanol através de catalisadores mais seletivos. O etanol originado da gaseificação ainda não é economicamente viável, mas dados de demonstração mostraram que 1 tonelada de resíduo municipal urbano é capaz de produzir 100 litros de etanol. Cálculos preliminares indicam que a produção de etanol a partir do gás de síntese é mais rentável do que a produção de eletricidade.

A segunda via de produção de combustíveis líquidos, ainda em desenvolvimento, se dá por meio do uso de enzimas ou microrganismos para refinar o gás de síntese. [9]

19.15 Produção de energia

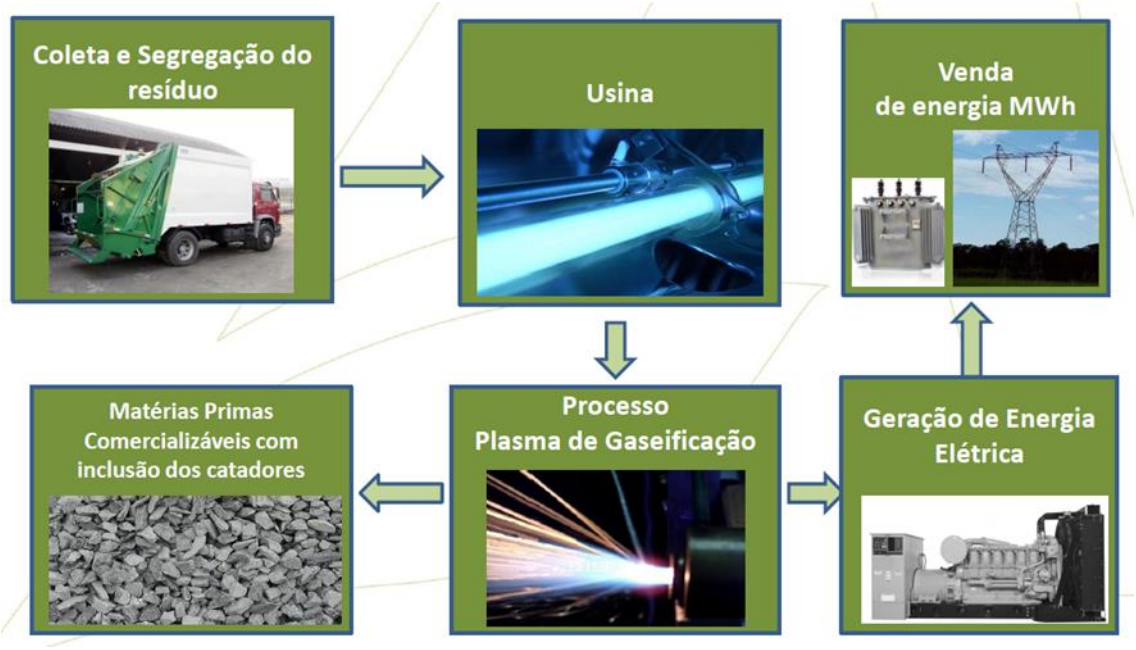
A produção de eletricidade a partir do lixo se dá através do uso de caldeiras, motores ou turbinas a gás. A combustão direta em uma caldeira tem menor custo e exige um gás menos limpo do que o utilizado em motores e turbinas a gás.

Sistemas de vapor podem gerar de 500-600 kWh por tonelada de resíduos sólidos urbanos. As turbinas a gás em ciclo combinado podem gerar 1000-1200 kWh por tonelada [10].

Em um ciclo combinado o gás de síntese é queimado numa turbina a gás para produzir eletricidade. Ao mesmo tempo os gases quentes de escape da turbina são capturados em um trocador de calor, que gera vapor para produzir eletricidade através de uma turbina a vapor.

A figura 19.16 ilustra a cadeia produtiva da energia produzida pela gaseificação por plasma térmico.

Figura 19.16 – Geração de energia elétrica através da gaseificação por plasma [14]



Primeiramente ocorre a coleta e segregação do lixo. Este é transportado para a usina e servirá de insumo para produção de energia. Na usina ocorre o processo de gaseificação por plasma, do qual se obtém matérias primas com valor agregado originadas dos materiais inorgânicos e o gás de síntese, que é utilizado para produzir energia a partir de uma termoelétrica, por exemplo.

19.16 Custo da tecnologia

Em comparação com as tecnologias que utilizam os combustíveis fósseis como fonte energética, os sistemas que utilizam o plasma térmico para gaseificação da biomassa têm seus custos globais menores. Isso se dá porque com o uso do plasma a geração de gases é reduzida e consequentemente o tratamento desses gases nocivos ao meio-ambiente. Esse tratamento, processo conhecido como lavagem de gases chega a custar até 50% do preço do empreendimento.

Por exemplo, o tratamento dos resíduos de uma usina siderúrgica com volume de 50.000 toneladas/ano com a utilização de plasma térmico custa 10 milhões de reais enquanto esse preço sobe para 25 milhões com o emprego de fonte de energia fóssil [37].

No entanto, os custos de capital ainda são altos. O custo de capital para uma planta de gaseificação a plasma sai por 76,8 dólares por tonelada de lixo processado, enquanto para uma planta convencional de transformação de lixo para energia esse custo é de 60 dólares por tonelada. Isso se deve especialmente aos custos das tochas de plasma.

A energia líquida produzida por tonelada de matéria-prima na gaseificação por plasma é de 533 kWh/ tonelada de lixo processado, já em uma planta tradicional de conversão de lixo em energia esse valor é 500 kWh por tonelada. [3]

Com a utilização do ciclo combinado é possível a geração de maior quantidade de energia, mas é necessário um grande investimento de implantação e o retorno econômico não é muito grande.

O que permitiria que o processo se tornasse economicamente viável é o aproveitamento do calor gerado, o que ainda não é feito.

O consumo de eletricidade, usado nas tochas de plasma, se mostra inconveniente. O plasma é formado a partir de gases não ionizados, o que o torna sensível ao preço da eletricidade somente por esse aspecto, embora o baixo custo do preço da exaustão de gases e o uso de ar pressurizado em detrimento de combustíveis fósseis compensem tal desvantagem.

A eletricidade é o principal produto das plantas a plasma atualmente, mas os combustíveis líquidos, hidrogênio e gás natural sintético futuramente contribuirão com a receita das usinas. Além disso, a venda de produtos como a escória e o enxofre também devem contribuir.

Por exemplo, utilizando como base uma usina que usa 750 toneladas de lixo por dia, o que é apropriado para uma pequena cidade, o custo de produção da usina seria de 150 milhões de dólares e o fluxo de caixa anual seria de aproximadamente 7 milhões de dólares. [9]

Possibilidades para o futuro são os subsídios oferecidos pelo governo para as energias renováveis e os créditos de carbono, o que ainda é difícil prever para tal tecnologia.

19.17 Questão legal

Por se tratar de uma tecnologia nova, a gaseificação por plasma ainda não tem leis que regulamentam seu uso no Brasil. No país, a lei que criou a Política Nacional dos Resíduos Sólidos foi sancionada em agosto de 2010. Ela proíbe a criação dos chamados "lixões", que armazenam os resíduos a céu aberto. Todas as prefeituras deverão construir aterros sanitários adequados ambientalmente.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, o país tem como meta resolver o problema da destinação do lixo nas cidades. Assim, a gaseificação por plasma se mostra como uma alternativa para tal, pois utiliza os resíduos sólidos municipais, além de produzir o gás de síntese, utilizado para gerar energia.

No estado de Iowa, nos Estados Unidos, foi assinado um projeto de lei que inclui a gaseificação por plasma como alternativa energética. Isso facilita que a energia produzida pela instalação possa ser integrada a locais de suprimento de energia e que a venda de energia para outros estados seja realizada. [3]

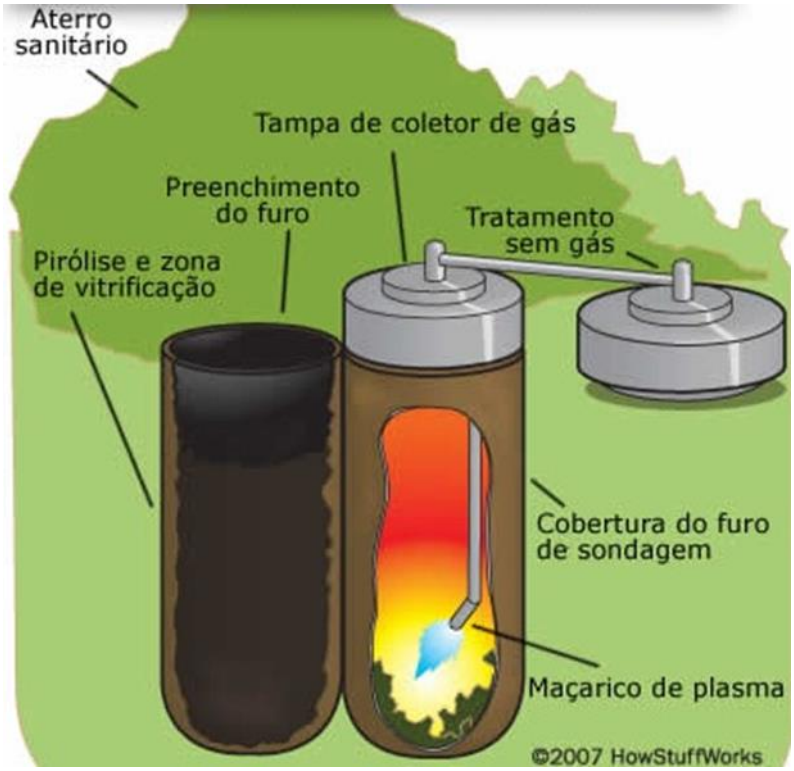
19.18 Tendências para o futuro [2]

Há várias pesquisas realizadas com o plasma atualmente e que apontam as tendências futuras para sua utilização.

As pesquisas hoje desenvolvidas com tocha de plasma visam a "destruição" de resíduos sólidos perigosos, com o devido aproveitamento do gás combustível gerado, baseando-se na substituição de técnicas convencionais de processamento de materiais por outras que utilizem o plasma como fonte energética.

Uma tendência para o futuro é um sistema de gaseificação por plasma portátil para tratar aterros sanitários sem construir uma indústria completa. De acordo com o Dr. Louis Circeo, do Georgia Tech, seriam feitos furos em aterros sanitários já existentes, onde seria inserida uma tocha de plasma e os buracos seriam cobertos com um sistema de captura de gás. Assim, o aterro de lixo funcionaria como um forno, como mostra a figura 19.17.

Figura 19.17 – Sistema de gaseificação por plasma portátil [2]



Outra alternativa seria a coabitação da câmara de gaseificação por plasma com uma instalação geradora de energia já existente.

Os geradores utilizados nas indústrias de plasma são geralmente menores e menos eficientes dos que os utilizados em usinas de energia de carvão mineral, por exemplo, pois a quantidade de gases produzidos pelas usinas de plasma é relativamente pequena comparada às usinas que usam combustível de origem fóssil. Como os dois tipos de usina utilizam o mesmo processo para tratar os gases e para geração de potência, seria interessante uma conexão do forno de gaseificação por plasma com fornos de carvão mineral ou a óleo, o que elimina aproximadamente 50% dos custos globais da construção de uma instalação de tratamento de resíduo com plasma, já que dispensa a necessidade de um equipamento de tratamento de gás nessa indústria. Assim, os gases dos fornos iriam se combinar, o que ajudaria no aumento da eficiência e reduziria a quantidade de combustível fóssil necessária para gerar potência.

19.19 Previsão de impactos [11]

Uma diferença perceptível entre os processos que usam plasma térmico em comparação com as plantas tradicionais que convertem lixo em energia é que o gás de síntese é limpo antes da combustão, o que se mostra mais eficiente do que uma limpeza pós-combustão, que também é mais cara. Assim, as emissões ao final do processo dependem do nível de limpeza do gás de síntese, com a exceção do NO_x que só é formado durante a combustão no equipamento de geração de energia.

Com a alta temperatura alcançada no forno a plasma o aparecimento de dioxinas e furanos é evitado, mas esses podem voltar durante o arrefecimento do gás de síntese. Para evitar sua formação o arrefecimento pode ser feito de forma rápida, embora isso cause uma perda de calor residual.

A poluição da água pode ocorrer dos processos de limpeza do gás de síntese, o que leva a presença de sais (cloro) na água. Um tratamento é necessário para transformá-los em um resíduo sólido ou para que possam ser depositados no esgoto.

A cinza vitrificada, vinda dos materiais inorgânicos, terá que passar por testes, a fim de ser reutilizada, por exemplo, na construção civil.

Os principais poluentes a serem controlados são:

Dioxinas: é um composto químico orgânico que não se degrada no meio-ambiente. Pode se acumular em seres humanos e animais, provocando anormalidades no desenvolvimento do seu sistema fisiológico e até causar câncer. Aparece durante a combustão de substâncias que contêm cloro.

Dibenzodioxinas policloradas: derivado da dioxina causa danos ao DNA de forma indireta.

Bifenilas Policloradas: são compostos muito estáveis e de difícil remoção, pode causar alterações nas funções reprodutivas dos organismos.

Ácido clorídrico: fortemente ácido e altamente corrosivo.

CO: quando há grande exposição ao monóxido de carbono, ele substitui o oxigênio do sangue, causando uma morte lenta, já que o cérebro se torna incapaz de funcionar normalmente.

CO_2: seu principal impacto é o efeito estufa.

Partículas em suspensão: são pequenas partículas que podem voar com os gases. O objetivo principal é aglomerá-las, para poder removê-las mais facilmente. A escolha da técnica empregada varia de acordo com o tamanho do material particulado.

Os ambientalistas manifestaram sua oposição à gaseificação por plasma com dois argumentos:

- A gaseificação por plasma desencorajaria a reciclagem e desviaria recursos dessa atividade, o que não se mostra verdadeiro já que bens de alto valor são separados para reciclagem.

- A gaseificação por plasma tem as mesmas emissões que a incineração, o que também não é verdade já que os sistemas de tratamento de gás permitem emissões bem menores nas usinas de gaseificação. [2]

2011

Capítulo 20: Cenários em energia[20]

20.1 Sumário executivo

A análise prospectiva ganha cada vez mais espaço dentro das empresas, marcadamente pela sua utilização estratégica voltada para a área de ciência e tecnologia. Das ferramentas dispostas pela prospectiva, os cenários, definidos como forma de organizar, sistematizar e delimitar as incertezas, formando uma descrição coerente de hipóteses, adquirem demarcada importância, sendo a ferramenta mais adotada pelas empresas para projeção.

No setor elétrico, os cenários encontraram uma ampla aplicação, permitindo a projeção do comportamento da demanda de energia e da utilização de alternativas energéticas, de inovação e projetos (riscos e tendências) pelas empresas do setor.

As metodologias empregadas para a elaboração de cenários, apesar de atenderem ao foco do elaborador, possuem sempre como linha base a identificação de fatos portadores de futuro, incertezas e latências, utilizando principalmente a análise retrospectiva e da situação atual, e a identificação e combinação de hipóteses futuras para as incertezas críticas, pautando em ferramentas e consultas a especialistas. A metodologia seguida caracterizará o cenário elaborado, podendo este ser mais narrativo, com base em análises qualitativas, ou ser mais exploratório, com base em dados quantitativos e análises de probabilidade.

A elaboração de cenários começa a se difundir no mundo após a Segunda Guerra Mundial, utilizando técnicas da estratégia da Força Aérea dos Estados Unidos.[1] A primeira integração de cenários na estratégia de uma empresa ocorreu nos anos 70, na Shell, empresa de energia e petroquímica. Atualmente, várias empresas e organizações realizam análise prospectiva por cenários. Cita-se o trabalho da IEA – Agência Internacional de Energia, cuja linha base é a redução da emissão de CO_2 para os níveis de 2005 no horizonte até 2050, e os cenários elaborados pela Shell, cuja publicação mostra cenários narrativos.

No Brasil, os cenários ainda são pouco explorados, sendo a Petrobras e a Eletrobras as principais empresas que aplicam a técnica de cenários nos processos de elaboração estratégica. Cita-se o trabalho da EPE – Empresa de Pesquisa Energética, ligada ao Ministério de Minas e Energia, com o Plano Nacional de Energia 2030, focado no planejamento energético do país. Um dos módulos desse plano foi a projeção da demanda de energia com base na cenarização feita. Para Minas Gerais, o trabalho de cenários em energia foi elaborado pela UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá e pela COPPE UFRJ, instituição de pós-graduação da UFRJ, em que foram identificados os principais gargalos do setor energético de Minas Gerais e foram feitas projeções do consumo e da oferta de energéticos para o Estado.

Para a integração dos cenários na estratégia de uma organização, estes podem ser vistos como a forma de estabelecer os subsídios para a determinação das diretrizes dos projetos de P&D e para a análise dos gaps tecnológicos, visando contornar esses gaps pelo desenvolvimento tecnológico nas áreas detectadas como mais críticas. Para mostrar esse aspecto dos cenários, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE realizou um estudo envolvendo o estado da arte de 60 tecnologias selecionadas por especialistas como importantes para o desempenho do setor energético no futuro e projeções baseados em cenários em energia desenvolvidos pela IEA e pela EPE, citados anteriormente. Dessa forma, o Centro pode estabelecer os marcos de desenvolvimento e de implementação comercial das tecnologias analisadas a partir da técnica de cenarização.

[20] Trabalho realizado pelo estagiário Leonardo , em 2011.

20.2 Introdução

A utilização da análise prospectiva vem ganhando espaço dentro das empresas, marcadamente pela sua utilização estratégica voltada para a área de ciência e tecnologia.

A análise prospectiva consiste, em perspectivas gerais, na identificação e no estudo de diversos futuros possíveis dentro de um horizonte específico, abrangendo desde mudanças a curto prazo de ações a mudanças sociais e econômicas a longo prazo.

Por essa definição, a análise prospectiva tem como objetivo orientar as decisões estratégicas a serem tomadas, visando o enfretamento dos problemas atuais face ao aproveitamento de oportunidades do horizonte estabelecido pelo planejamento e à construção do futuro desejado.

A análise prospectiva dispõe de várias ferramentas para a identificação dos diversos futuros. A elaboração de cenários tem sido a ferramenta mais empregada em formulações estratégicas para as empresas. Os cenários podem ser definidos como um conjunto formado pela descrição coerente de hipóteses quantitativas e qualitativas sobre características, condições e fatores predominantes no ambiente externo que podem afetar as estratégias e condicionar os planos de ação, operações e resultados. Definem-se como a forma de organizar, sistematizar e delimitar as incertezas explorando os pontos de mudança ou manutenção dos rumos de uma dada evolução de situações.

Os cenários ainda se apresentam como trajetórias de evolução possíveis e devem ser entendidos não como predição e nem como estratégia. Não é predição por tratarem de hipóteses plausíveis e consistentes sobre formas nas quais forças externas podem impactar na organização. Cenários não constituem uma estratégia por não se caracterizarem pela elaboração de planos e decisões integradas que levam a um resultado articulado. Em contrapartida, os cenários são um dos insumos para a construção do planejamento que reúne as ações da organização que a levem a aproveitar as oportunidades e evitar as ameaças que sobrevierem do cenário apresentado ou do cenário que se pretende construir.

Em contrapartida a essa importância dos cenários para o entendimento e a percepção das opções estratégicas das organizações, encontra-se limitações para a ferramenta de análise prospectiva por cenários. A primeira limitação reside no fato de os cenários tratarem de representações simplificadas de trajetórias futuras da realidade, sendo esta entendida como muito mais plural, contraditória e complexa. Uma segunda limitação da ferramenta aborda o alcance das quantificações representadas em cada cenário. Por se tratarem de simulações de números plausíveis, os cenários não têm objetivo de refletir projeções acuradas, mas são usados para dar uma ideia mais precisa da intensidade dos fenômenos ou das situações consideradas. Outro ponto a ser considerado nessa limitação é a força da ferramenta que está mais na visão do conjunto e plural dos futuros possíveis, para inspirar formulações estratégicas antecipatórias, do que na leitura e consideração isolada de cada cenário.

A utilização estratégica da análise prospectiva, bem como da ferramenta de cenários, possuem importância dentro da gestão tecnológica por permitirem a projeção compatível com futuros possíveis de tendências e riscos associados à inovação e aos projetos. Por essa razão, os cenários adquirem fundamental importância no setor elétrico.

As reestruturações que o setor vem passando, bem como o surgimento de novas tecnologias, aumento da demanda e a utilização de alternativas energéticas impactam nos produtos e serviços das empresas de energia elétrica. A elaboração dos cenários estabelecem os subsídios para a determinação das diretrizes dos projetos de P&D e

para a análise dos *gaps* tecnológicos, visando contornar esses *gaps* pelo desenvolvimento tecnológico nas áreas detectadas como mais críticas.

20.3 Metodologias

Para a construção da ferramenta de análise prospectiva por cenários, metodologias foram definidas ao longo da incorporação da técnica nos processos das organizações. A diferenciação das etapas no processo decorre do foco estabelecido pelo formulador para a aplicação e análise dos cenários obtidos como resultado.

Apesar dessa diversidade de metodologias para a construção dos cenários, elas possuem objetivos comuns e possuem mesma essência. A abordagem sistêmica inerente a qualquer elaboração de cenário tem como objetivo contornar a complexidade de interpretação da realidade, de forma a representar essa totalidade complexa por um conjunto de variáveis. A partir desse conjunto de variáveis, procura-se compreender a lógica de interação entre elas e como esse volume de dados e informação se organizam na lógica de determinação do sistema.

Tomando-se essa essência como compartilhada entre as metodologias, obtém-se uma sequência coerente para elaboração baseada em dois momentos fundamentais do processo:

- identificação de latências, fatores portadores de futuro e incertezas críticas;
- definição e combinação de hipóteses plausíveis sobre o futuro das incertezas críticas.

Ao longo do processo, procura-se responder cinco perguntas articuladas com esses momentos fundamentais pontuados [2]:

1- Quais os condicionantes estão amadurecendo na atualidade e carregam tendências de futuro?

Nesta etapa é feita uma análise retrospectiva e uma análise da conjuntura atual para se encontrar os condicionantes cujo desempenho alteram as perspectivas futuras.

2- Quais são os condicionantes mais relevantes e os que são as principais incertezas?

Os condicionantes selecionados que influenciam fortemente o futuro, são aqueles que influenciam nas variáveis mais importantes que descrevem o objeto.

As incertezas críticas – condicionantes com alta relevância e alta incerteza – serão sobre as quais se aplicarão as análises de plausibilidade e consistência por terem papel determinante na delineação do futuro. Michael Porter (1989) sugere como classificação dos diversos graus de incertezas:

- Elementos Constantes;
- Mudanças predeterminadas;
- Mudanças incertas.

3- Que hipóteses parecem plausíveis para a definição de eventuais e prováveis comportamentos futuros dessas incertezas centrais?

As incertezas críticas selecionadas só podem ter seu desempenho futuro descrito por meio da formulação de hipóteses alternativas que podem ser logicamente demonstráveis, sendo nessa etapa elaboradas tais hipóteses.

4- Como combinar as diferentes hipóteses para as incertezas consideradas relevantes?

Para a construção dos cenários, a relação e a influência entre as hipóteses devem ser analisadas.

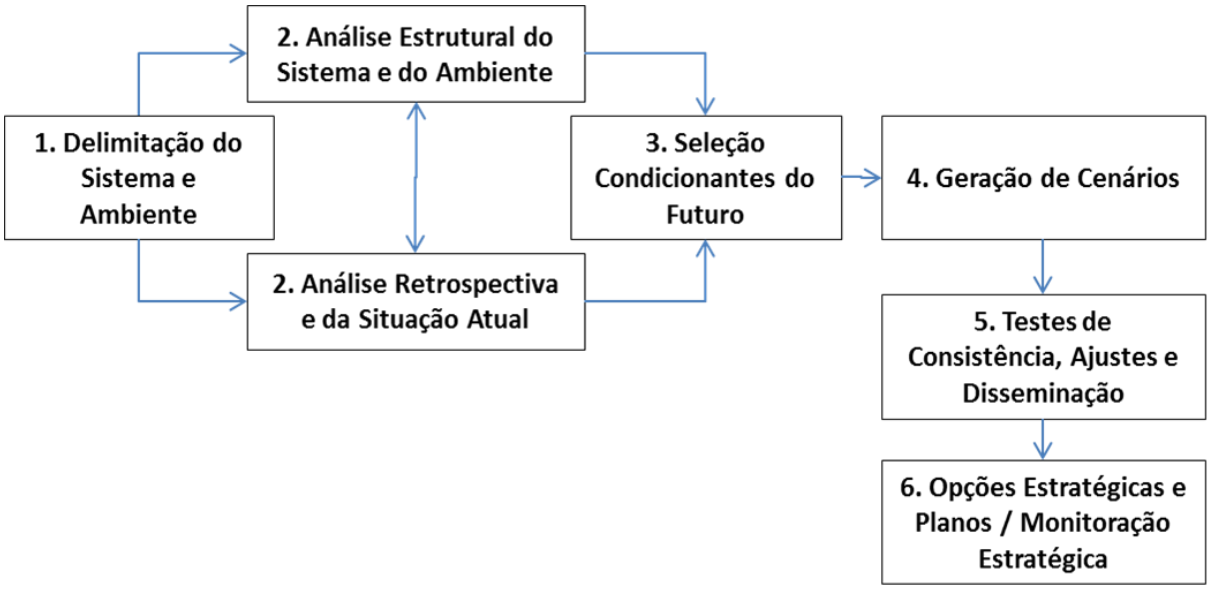
5- Quais as combinações de hipóteses das incertezas podem ser consideradas consistentes para a formação coerente do cenário?

A combinação das hipóteses, além de criar um grande número de alternativas pode levar a resultados que não são consistentes. Dessa forma, é feita uma análise de consistência e coerência das combinações das hipóteses das diversas incertezas na construção do cenário, cuja linha base e objetivo de demonstração estejam previamente determinados.

A partir da essência compartilhada dos cenários, originam-se diversas metodologias para a elaboração dos cenários, que diferem em algumas etapas e alguns elementos envolvidos, por conta do fim da análise prospectiva a ser realizada. São apresentadas aqui quatro metodologias diferentes [3].

O primeiro é o método de Godet, representado na figura 20.1.

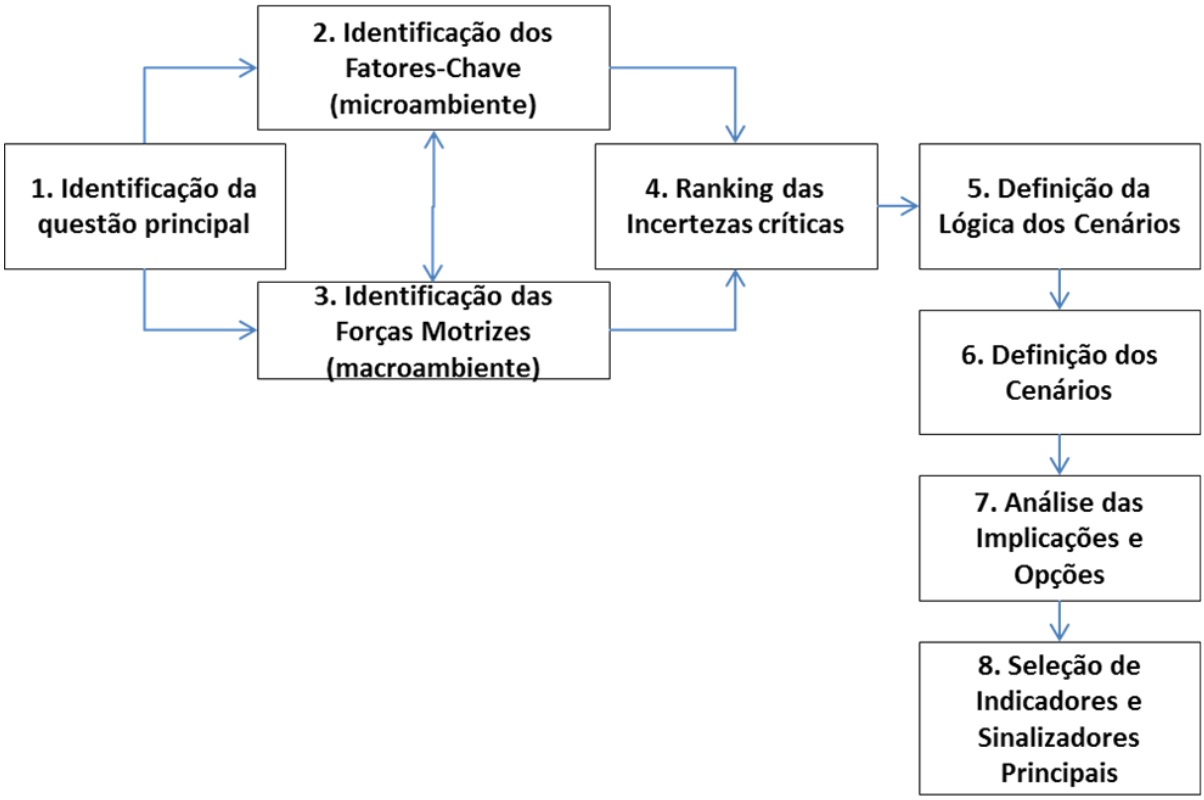
Figura 20.1 – Método de Godet para elaboração de cenários



Os principais pontos que diferem esse método dos demais apresentados são uma menor flexibilidade na elaboração dos cenários, o que resulta em uma menor rapidez de atualização, o que o caracteriza como o método mais trabalhoso, por ter todas as etapas muito bem definidas; e a utilização de variáveis qualitativas e quantitativas. O Método de Godet também é o único que não leva em consideração os modelos mentais dos dirigentes durante a elaboração dos trabalhos. Godet afirma que um terço dos cenários são suficientes para cobrir 80% do campo de probabilidades. Apesar da estrutura analítica, a base dos cenários do método são intuições. [3]

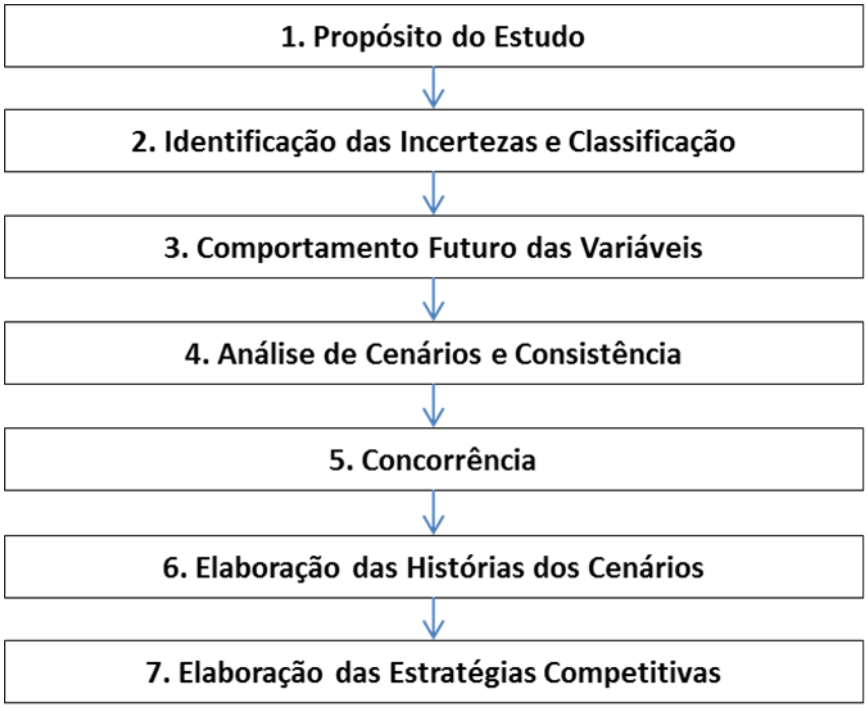
O segundo é o método GBN – *Global Business Network*, empresa de prospectiva criada por Peter Schwartz e Pierre Wack em 1988. Os métodos GBN e de Porter, a ser descrito a seguir, possuem propostas semelhantes, mas diferem quanto ao foco, uma vez que o GBN tende à geração de cenários globais e o método de Porter à geração de cenários para indústrias. O método GBN utiliza variáveis qualitativas, sendo menos detalhado e mais subjetivo que o método de Godet, tornando-o mais flexível. O método GBN é o único que não utiliza em momento algum a probabilidade, tendo como justificativa evitar cair na tendência de observar apenas o cenário de maior probabilidade. Os cenários ocorrem em ambientes tão diferentes que a atribuição de probabilidades depende de pressupostos muito diferentes sobre o futuro. [3] A figura 20.2 representa as etapas do Método GBN.

Figura 20.2 – Representação do Método GBN



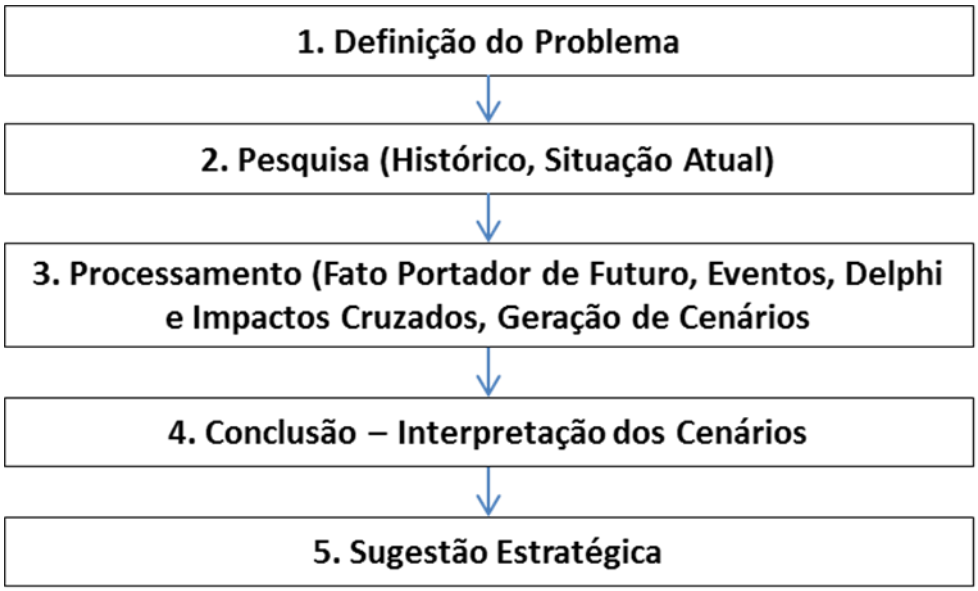
O terceiro é o Método de Porter. Esse método é menos sistematizado, utilizando variáveis qualitativas. Porter é o único que considera na sua análise o comportamento da concorrência. A figura 20.3 representa esse método.

Figura 20.3 – Representação do Método de Porter



O último dos quatro métodos mais utilizados é o Método Grumbach. Esse método dispõe de variáveis qualitativas e quantitativas, tornando suas etapas mais bem definidas e sua análise mais sistemática que no método GBN e de Porter. Esse método é o único que utiliza o método Delphi durante a etapa de processamento e geração dos cenários. O método está esquematizado na figura 20.4.

Figura 20.4 – Representação do Método Grumbach



20.4 Conceitos e *Inputs*

Durante o processo da elaboração dos cenários, são encontrados e definidos conceitos e *inputs* essenciais para o entendimento e análise de todo o processo.

Antes do conhecimento desses conceitos em cenários, é necessário executar uma análise estrutural do sistema-objeto. Por essa análise, deve-se procurar compreender e delimitar com precisão o sistema, conhecendo-o por seu objetivo, horizonte temporal e lugar.

Todos os cenários devem conter os seguintes elementos, sejam eles para alimentar o processo de elaboração ou obtidos ao final da construção dos cenários.

- Título

Referência para a construção do cenário. Deve condensar a essência da história, delineada em poucas palavras.

- Filosofia ou ideia Força

Síntese do movimento ou da diretriz do sistema.

- Atores

São os indivíduos, grupos, decisores, organizações ou associações que influenciam ou recebem influência do sistema considerado no cenário. Os cenários expressam o predomínio de uma aliança entre os atores em torno de um dado projeto. O futuro depende da capacidade desses atores constituírem um projeto dominante, assumindo controle dos instrumentos necessários para sua implementação e influenciando as variáveis. São analisados jogos de atores, interesses, alianças e acordos políticos.

- Variáveis

São os aspectos ou elementos relevantes do sistema ou do contexto considerado, tendo em vista o objetivo do cenário.

- Cena

Descrição da situação em determinado instante de tempo em que se descreve como estão organizados os atores e as variáveis naquele instante.

- Trajetória

Definido como o percurso seguido pelo sistema no horizonte de tempo considerado. Descreve a dinâmica do sistema desde a cena inicial até a final. Indica de forma lógica e tecnicamente fundamentada, o processo em que a realidade pode evoluir, passando das inércias estruturais e permitindo o amadurecimento dos condicionantes e das incertezas.

20.5 Categorias e tipos

Conforme definido anteriormente, os cenários são um conjunto de descrição de hipóteses sobre características e fatores de um sistema futuro abrangendo também a descrição das trajetórias de evolução possíveis.

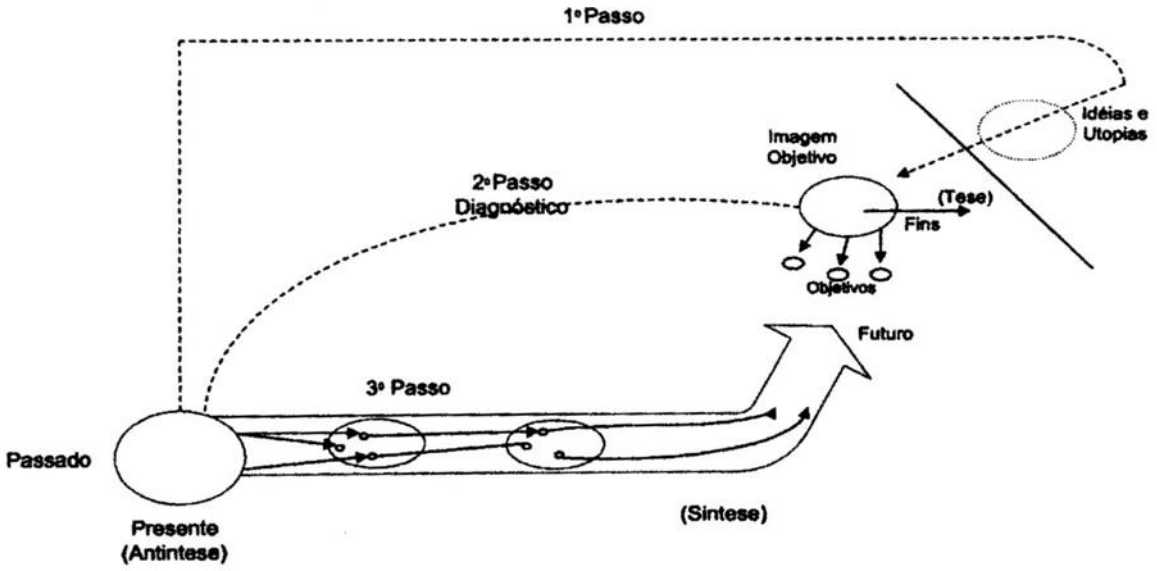
Para a caracterização dos cenários, esses podem ser classificados em tipos tomando como fatores de diferenciação a presença da vontade e dos desejos dos formuladores dos cenários e o grau de ruptura com a tendência de aspectos dominantes no momento passado.

Pela presença ou ausência dos desejos dos formuladores, os cenários são separados em duas categorias, sendo uma dessas categorias classificada também em dois tipos diferentes quanto ao fator de ruptura com a tendência.

20.6 Cenários Normativos [2]

Os cenários normativos, também denominados cenários desejáveis, incluem em sua elaboração as aspirações dos decisores em relação ao futuro. Tratam da melhor previsão possível que aproxima essas aspirações e os desejos em relação ao futuro. Essas previsões são conhecidas como utopias plausíveis, uma vez que o desejo que se pretende atingir e o horizonte do cenário para alcançá-lo são definidos com base em uma análise de plausabilidade e viabilidade; são previsões logicamente viáveis.

Figura 20.5 – Cenários Normativos



Fonte: Macroplan, 1996.

20.7 Cenários Exploratórios [2]

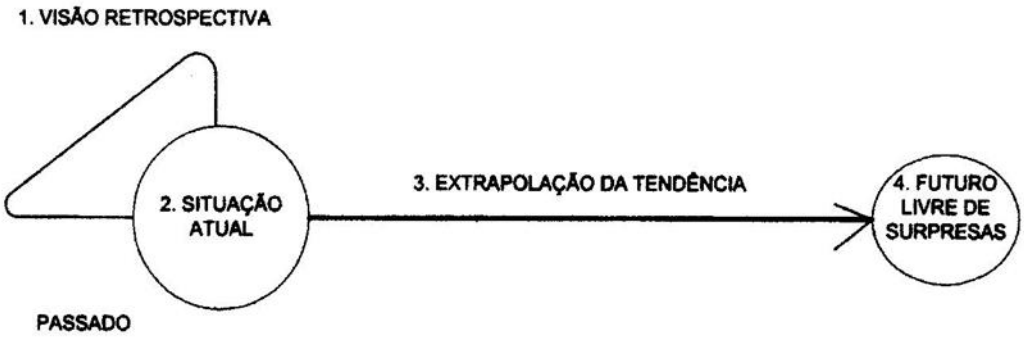
Os cenários exploratórios possuem um conteúdo mais técnico, pelo tratamento racional das probabilidades. Nesse caso, trabalha-se com uma única hipótese de comportamento futuro dos condicionantes e excluem-se as vontades e os desejos dos formuladores dos cenários.

Esses cenários podem ser separados em dois tipos de acordo com a ruptura e a trajetória de evolução pretendida.

- Extrapolativos

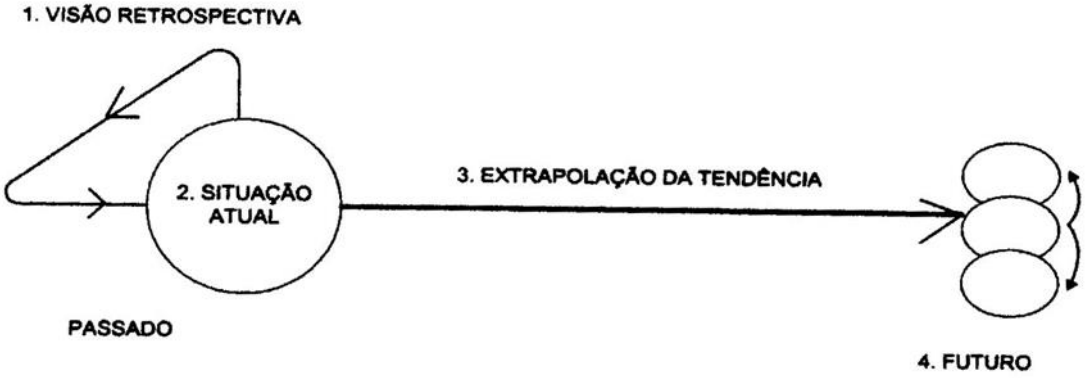
Os cenários exploratórios extrapolativos possuem como característica reproduzir no futuro aspectos dominantes no passado. Esse tipo ainda pode ser diferenciado em futuro livre de surpresas, pelo qual se tem apenas uma projeção direta do passado no futuro, e em cenários com variações canônicas, que incorporam pequenas variações qualitativas no futuro livre de surpresas.

Figura 20.6 – Cenários exploratórios extrapolativos livre de restrições



Fonte: Macroplan, 1996.

Figura 20.7 – Cenários exploratórios extrapolativos com variações canônicas

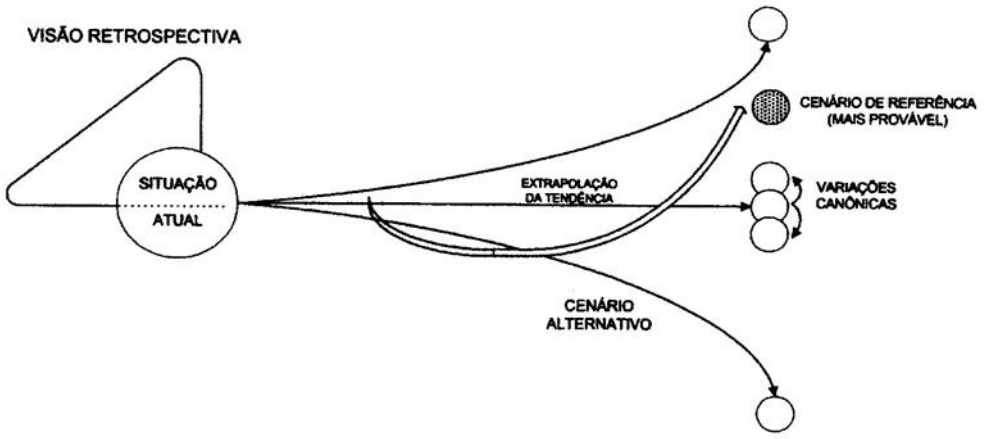


Fonte: Macroplan, 1996.

- Alternativos

Os cenários alternativos exploram os fatores de mudança que podem levar a realidades diferentes do que conhecidas até então. Dessa forma, possuem como característica a ampliação das possibilidades de futuros e das incertezas de hipóteses. Consideram aspectos de descontinuidade e de inflexão de tendências.

Figura 20.8 – Cenários exploratórios alternativos



Fonte: Macroplan, 1996.

Integração dos cenários

A análise prospectiva por cenários surgiu como uma das principais ferramentas para as empresas que, de acordo com o seu segmento no mercado, precisam de um planejamento a longo prazo para o desenvolvimento dos seus produtos e das suas tecnologias. O horizonte visado pela empresa passa a ser entendido por meio das incertezas e das tendências de condicionantes ambientais, econômicos, técnicos, sociais e estratégicos.

Dessa forma, torna-se nítido o papel dos cenários integrado ao planejamento estratégico das empresas, sendo utilizados para:

- gerar opções estratégicas;
- auxiliar no planejamento e gerenciamento dos níveis de incertezas;
- avaliar o risco de retorno frente às incertezas;
- apontar pontos fortes e fracos da organização;
- avaliar potenciais oportunidades e eventuais obstáculos;
- aprendizagem organizacional contínua a respeito das decisões-chave e das prioridades.

Frente aos cenários, as empresas devem escolher a melhor forma para se posicionar, procurando se inserir em um dos cenários definidos ou planejando de forma a se adaptar ao cenário tendencial ou, ainda, estabelecendo diretrizes para se manter no cenário que sobrevier no futuro, não restringindo esforços a uma possibilidade apenas.

Para o setor elétrico, embasando as análises a serem feitas nos próximos tópicos cujo foco é os cenários em energia, a integração dos cenários à lógica do Balanço Energético, Planejamento Energético e definição de políticas, diretrizes e projetos de P&D levam a reflexões acerca dos rumos do setor.

Atualmente, a elaboração de cenários é ainda uma técnica bem recente no Brasil. As empresas que lideram as iniciativas no aspecto de elaboração de cenários e antecipação de futuro são a Petrobras e a Eletrobras, visando o comportamento de mercado e a demanda de energia e de combustíveis. O investimento contínuo na análise pros-

pectiva e o estabelecimento de departamentos nessas empresas voltados para essa análise possuem como mote a produção de insumos para o próprio planejamento estratégico da empresa.

Como visto, o setor elétrico é um dos setores que mais apresenta iniciativas na elaboração de cenários por trabalhar com planejamento a longo prazo de demanda e tecnologia como diretrizes para os esforços atuais. O principal diferencial nesse caso é a incorporação dos cenários gerados ao trabalho já desenvolvido quanto ao Balanço Energético e ao Planejamento Energético.

O Balanço Energético pode ser visto como o *startup* para a elaboração dos cenários, sendo a parte inicial de análise retrospectiva, por compilar dados históricos e por apresentar dados atuais, possibilitando a identificação dos condicionantes que possuem relevância no desempenho futuro de demanda energética e possibilitando analisar a linha de tendência no comportamento desses condicionantes.

O Planejamento Energético tem como foco a descrição das ações envolvidas nas trajetórias associadas a cada cenário construído, tendo origem em estudos que fornecem insumos para a formulação de políticas energéticas segundo uma perspectiva integrada de recursos disponíveis. Consegue-se, assim, planejar o desempenho do setor elétrico para um horizonte, orientando tendências e balizando as expectativas de expansão desse segmento.

O desenvolvimento integrado desses documentos está relacionado diretamente à Gestão Tecnológica das empresas do setor, oferecendo subsídios para o financiamento e construção de uma agenda de P&D (lista de tópicos tecnológicos priorizados) que relacionam um conjunto de tecnologias que serão importantes segundo expectativas da sociedade. O principal é construir um embasamento em diretrizes e necessidades pré-estabelecidas que fundamentem o investimento nos projetos de P&D. Por meio dessa priorização dos projetos, consegue-se avançar na elaboração de cenários, envolvendo mais especialistas na identificação de tópicos prioritários para pesquisa e integrando mais pessoas no processo de Gestão Tecnológica.

20.8 Análise

Cenários: Mundo, Brasil, Minas Gerais.

Para a consolidação do entendimento da técnica de análise prospectiva por cenários, serão feitas a seguir análises de cenários elaborados por diversos órgãos, procedendo-se quanto à avaliação dos resultados e das informações geradas por cada um dos trabalhos, bem como uma avaliação do tipo e da estrutura de elaboração de cada um, limitado pelas informações fornecidas por cada elaborador.

Os cenários apresentados são os seguintes:

- Cenário Mundial – elaborado pela IEA – Agência Internacional de Energia;

- Cenário Mundial – elaborado pela Shell – empresa petroquímica e de energia;

- Cenário do Brasil – elaborado pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética;

- Cenário de Minas Gerais – elaborado pela COPPE UFRJ e pela Universidade Federal de Itajubá.

20.8.1 Cenário Mundial - IEA

O trabalho realizado pela IEA – Agência Internacional de Energia teve como *startup* um pedido do G8 de informação e conselho quanto a cenários de alternativas energéticas e estratégias a serem visadas para um futuro em energia limpa, inteligente e competitiva.[4]

Dessa forma, o trabalho teve como objetivo se tornar uma referência para os governos e outras partes interessadas sobre políticas, práticas e tecnologias existentes e emergentes para o futuro da energia limpa. Os cenários elaborados serviram como o insumo para o desenvolvimento de 17 rotas tecnológicas (*technology roadmaps*) essenciais para atingir o resultado compartilhado pelos cenários.

O estudo focou em três cenários: um cenário de tendência, o cenário ACT Map e o BLUE Map. Esses cenários servem para reforçar e ilustrar a escala do desafio apresentado na transformação do sistema de energia e a importância de se realizar ações visando a essa transformação o quanto antes.

A linha base de construção desses cenários é o nível de emissão de CO_2, tomando-se como parâmetros os fatos a seguir[4]:

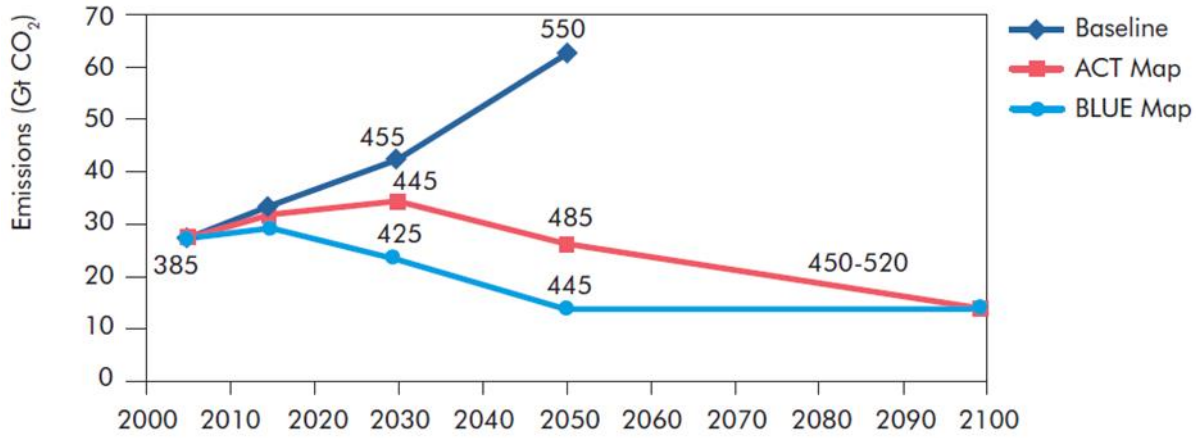
- No cenário de tendência, a emissão de CO_2 irá aumentar de 27 Gt/ano em 2005 para 62 Gt/ano em 2050. A concentração irá aumentar de 385 ppm atualmente para 550 ppm em 2050;

- No cenário ACT Map, emissões de CO_2 terão um pico em 2030 de 34 Gt/ano e voltarão para os níveis de emissão de CO_2 de 2005 em 2050, resultando numa concentração de 485 ppm nesse ano. As previsões das emissões continuam diminuindo, atingindo 14 Gt/ano até 2100;

- O cenário BLUE Map prevê o nível de emissão de CO_2 em 2050 igual à metade do nível de 2005. Enquanto o cenário ACT Map prevê no horizonte temporal uma redução do nível de forma a igualar ao nível de 2005, o cenário BLUE Map, face às transformações climáticas decorrentes do aquecimento global e visando a manutenção de um aumento na temperatura global de até 2ºC, parte do princípio que essa redução não é suficiente, sendo necessário reduzir para a metade dos níveis de emissão de 2005.

A figura 20.9 representa a evolução da emissão de CO_2 nos três cenários considerados, ressaltando a diferença do nível de emissão em 2050 considerada na elaboração de cada cenário.

Figura 20.9 – Perfil do nível de emissão e da concentração (ppm) de CO_2 em cada cenário [4]



Todos cenários foram construídos com as mesmas suposições da macroeconomia que o cenário base (PIB mundial quadruplicando entre 2005 e 2050) e com as mesmas suposições do crescimento demográfico mundial (crescimento de 37% da população).

A análise feita e a metodologia adotada na elaboração dos cenários são baseadas na combinação de quatro abordagens:

- O cenário de referência é baseado nos resultados do *World Energy Model* utilizado em outro documento da IEA, o *World Energy Outlook* 2007. Para analisar os cenários ACT e BLUE, foi utilizado o modelo de *Energy Technology Perspectives* de demanda e fornecimento global de energia;

- Os modelos para análise do potencial de redução em emissão foram utilizados focando individualmente os países;

- Os modelos de planilhas, que são ferramentas de simulação detalhada que servem como banco de dados para informações de especialistas e de diferentes modelos. Nesses modelos são setorizados para: transporte, residencial, industrial e serviços;

- As características e os potenciais atuais e futuros das opções tecnológicas foram analisadas com base em informações de especialistas.

No cenário de tendência, o aumento na emissão de CO_2 é devida ao aumento da economia, principalmente por conta da China e Índia, e devido ao aumento no preço do petróleo e do gás, o que resulta numa mudança para carvão.

O cenário BLUE é muito mais especulativo que o ACT, uma vez que leva em conta tecnologias que não estão disponíveis atualmente e requer desenvolvimento rápido e urgente e difusão de tais tecnologias. Sem isso, o cenário torna-se inatingível.

A tabela 20.1 apresenta os dados gerados de produção de energia para os cenários ACT e BLUE para o horizonte de 2050.

Tabela 20.1 – Produção de Energia Elétrica por cenário para o ano de 2050 [4]

	2005	Baseline 2050	ACT Map	ACT noCCS	ACT hiNUC	ACT loREN	ACT loEFF	BLUE Map	BLUE noCCS	BLUE hiNUC	BLUE loREN	BLUE loEFF	BLUE hiOil&Gas	BLUE OECD	BLUE disc4%
Production (TWh/yr)															
Nuclear	2 771	3 884	7 336	7 336	15 865	7 336	7 336	9 857	9 857	15 877	9 857	9 857	9 857	6 809	9 857
Oil	1 186	1 572	882	832	864	885	875	133	123	150	210	332	113	905	29
Coal	7 334	25 825	949	2 531	566	1 277	1 206	0	353	0	0	0	0	14 666	326
Coal + CCS	0	3	4 872	0	2 732	5 915	5 367	5 468	0	4 208	7 392	7 461	6 509	1 006	3 139
Gas	3 585	10 557	9 480	12 696	7 619	10 953	10 935	1 751	4 260	1 570	1 747	2 073	1 358	5 974	338
Gas + CCS	0	83	1 962	0	1 850	2 024	2 108	5 458	0	4 926	6 711	6 820	3 765	3 062	4 491
Hydro	2 922	4 590	5 037	5 020	4 985	4 663	5 042	5 260	5 504	5 203	5 114	5 385	5 505	4 929	6 617
Bio/waste	231	1 682	1 578	2 124	1 609	1 487	1 606	1 617	3 918	1 606	1 448	1 689	1 842	1 540	1 474
Bio + CCS	0	0	402	0	401	406	400	835	0	678	1 103	1 077	864	363	1 567
Geothermal	52	348	934	937	731	909	934	1 059	1 059	1 059	1 059	1 059	1 059	746	1 059
Wind	111	1 208	3 607	4 654	2 680	2 735	3 908	5 174	6 743	4 402	3 988	5 951	6 395	2 811	8 786
Tidal	1	10	111	111	111	35	111	413	2 389	419	165	806	755	110	4 452
Solar	3	167	2 319	2 565	1 487	648	2 770	4 754	5 297	4 220	2 314	4 987	5 278	1 858	6 842
Hydrogen	0	4	1	0	0	1	1	559	517	472	664	649	720	239	1 240
TOTAL	**18 196**	**49 934**	**39 471**	**38 807**	**41 501**	**39 274**	**42 599**	**42 340**	**40 021**	**44 791**	**41 773**	**48 146**	**44 021**	**45 018**	**50 218**
Share (%)															
Nuclear	15	8	19	19	38	19	17	23	25	35	24	20	22	15	20
Oil	7	3	2	2	2	2	2	0	0	0	1	1	0	2	0
Coal	40	52	2	7	1	3	3	0	1	0	0	0	0	33	1
Coal + CCS	0	0	12	0	7	15	13	13	0	9	18	15	15	2	6
Gas	20	21	24	33	18	28	26	4	11	4	4	4	3	13	1
Gas + CCS	0	0	5	0	4	5	5	13	0	11	16	14	9	7	9
Hydro	16	9	13	13	12	12	12	12	14	12	12	11	13	11	13
Bio/waste	1	3	4	5	4	4	4	4	10	4	3	4	4	3	3
Bio + CCS	0	0	1	0	1	1	1	2	0	2	3	2	2	1	3
Geothermal	0	1	2	2	2	2	2	3	3	2	3	2	2	2	2
Wind	1	2	9	12	6	7	9	12	17	10	10	12	15	6	17
Tidal	0	0	0	0	0	0	0	1	6	1	0	2	2	0	9
Solar	0	0	6	7	4	2	7	11	13	9	6	10	12	4	14
Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	2	1	2
TOTAL	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
CO_2 emissions in 2050 (Gt CO_2/yr)	27 (2005)	62	27	31.3	25.6	27.6	29.3	14	20.4	13.4	14.2	15.0	13.3	41.6	7.7
Incremental cost in 2050 (trln. USD/yr)			NA	0.22	-0.07	0.03	0.12	NA	1.28	-0.12	0.04	0.20	-0.14	NA	NA
Marginal cost to meet target (USD/t CO_2)			50	76	41	54	64	200	394	182	206	230	179	NA	NA

Desses cenários construídos e desses dados gerados, podemos tirar muitas informações relevantes que têm como objetivo não serem assertivas, ou seja, não delinearem exatamente o valor de cada parâmetro no futuro, mas têm como objetivo mostrar o comportamento futuro e os esforços requeridos em cada perspectiva.

Quanto à geração de energia elétrica, no cenário de tendência, temos um aumento em 174% da geração de energia, passando de 18.196 TWh/ano para 49.934 TWh/ano. Esse aumento é consistente, uma vez que é considerado que a economia mundial quadruplica nesse período o que leva a um aumento na demanda por parte do setor residencial, mas principalmente no setor industrial e no de transportes. A diferença para os cenários ACT e BLUE deve-se ao aumento na eficiência no uso dessa energia requerida.

Para o mesmo desenvolvimento econômico, as perdas energéticas tornam-se menores com o aumento da eficiência constante ao longo do tempo. A geração para o cenário BLUE é maior do que no cenário ACT por ele contar no setor de transporte com veículos elétricos sendo produzidos para o mercado a preço comercial e competitivo, aumentando a demanda por esse tipo de veículo. No cenário ACT, por outro lado, as únicas variantes consideradas para o setor de transportes são a utilização de biocombustíveis e o aumento na eficiência. Dessa forma, o consumo para o setor BLUE torna-se ligeiramente maior.

Quando é analisada a parcela de energia elétrica gerada correspondente às fontes renováveis, temos um aumento nos dois cenários desse valor.

A parcela de geração de energia por fontes renováveis aumenta para 35% no cenário ACT e para 46% no cenário BLUE, comparando com os 18% correspondentes ao ano de 2005. Como a produção de energia mais que dobra no período, o aumento da produção de fontes renováveis mais que quadruplica, sendo os carros-chefes a geração por fonte eólica, solar e a partir de biomassa.

Entretanto, mais do que apenas construir um cenário e quantificar parâmetros desse desempenho futuro, os cenários possuem como função prover de insumo a construção e o delinear dos caminhos para atingir aquele cenário. Dentro dos cenários em energia, esse delineamento vem por meio das rotas tecnológicas, ou seja, do estabelecimento do desenvolvimento das tecnologias necessárias (por inovação ruptiva ou por investimento nas tecnologias já existentes).

As mudanças propostas pelos cenários ACT e BLUE são possíveis, factíveis, mas as tecnologias para entregar esses resultados estão longe de serem economicamente viáveis dentro da lógica das políticas atuais. Um portfólio de opções tecnológicas deverá ser feito para combater o aumento das emissões de CO_2 e equilibrar o aumento na demanda de energia.

Dessa forma, a IEA identificou o desenvolvimento necessário para uma gama de tecnologias que levarão aos objetivos dos cenários ACT e BLUE. Devem-se priorizar as tecnologias as quais oferecem potencial de redução de CO_2 ao mesmo tempo em que demonstram responder bem aos esforços e aos investimentos para atingir avanços tecnológicos e reduções nos custos.

A tabela 20.2 mostra um exemplo dessas tecnologias identificadas. A tabela completa pode ser encontrada no documento *Energy Technologies Perspectives 2008 – Scenarios and Strategies to 2050*.

Tabela 20.2 – Pesquisa e desenvolvimento para novas tecnologias para geração de energia [4]

Sector	Technologies	Technical target		
		Current	ACT Map (Year)	BLUE Map (Year)
Renewable	**Geothermal**			
	Enhanced geothermal system (EGS)	A few pilot projects; problems with deep drilling cost & fracturing	Solve technical problems 50-100 GW (2050)	Solve technical problems 100-200 GW (2050)
	Solar photovoltaic			
	Thin film	6-10% efficiency	15-18% efficiency (2050)	20-25% efficiency (2030)
	3rd generation ultra high efficiency cells	N/A	Technologies understood, demonstration plants in niche market applications (2050)	Fully developed and deployed with above 40% efficiency (2025)
	3rd generation ultra low cost cells			Fully developed and deployed with 10-15% efficiencies (2025)
	Offshore wind			
	Deepwater	N/A	Demo (2010)	
	Biomass			
	Black liquor Integrated gasification combined cycle (IGCC) + CO_2 capture and storage (CCS)	Pilot plant without CCS demo 2020	30 GW by 2050 Demo 2015	50 GW by 2030

Analisando o caso do desenvolvimento da tecnologia de energia solar fotovoltaica, tem-se que a segunda geração dos filmes finos possui eficiência da ordem de 10%. Para que a contribuição da energia solar no total de energia elétrica gerada seja de 6 a 10%, como mostrado nos cenários, a segunda geração dos filmes deve atingir eficiência na ordem de 18 a 25%. Devem ainda ser estabelecidos projetos de pesquisa e desenvolvimento para a terceira geração de células fotovoltaicas, baseadas na utilização de novos materiais orgânicos e nanoestruturados, para alcançar eficiência acima de 40% em 2050. Esse objetivo é coerente com a expectativa que se tem hoje quanto a essa tecnologia, que é ela ultrapassar eficiência de 50%.

20.8.2 Cenário Mundial - Shell

Outros cenários também relevantes no contexto mundial são os elaborados pela Shell, empresa petroquímica e de energia. Os cenários em energia construídos pela empresa também possuem como base a redução nos níveis de emissão de CO_2 e possuem como horizonte o ano de 2050.

De acordo com a empresa, os cenários foram elaborados a partir de três verdades que o sistema de energia não pode mais evitar [5]:

- A pressão na demanda pelo desenvolvimento e crescimento de países e de superpotências irá estimular o suprimento alternativo e o uso mais eficiente de energia. Entretanto, esses podem não ser suficientes para diminuir tal tensão entre fornecimento e demanda de energia. Não é considerado por país algum desacelerar a economia;

- O fornecimento de energia terá dificuldade para permanecer no ritmo de crescimento. Em 2015, o crescimento na produção de óleo e gás não será compatível com a taxa projetada de crescimento na demanda. Apesar da disponibilidade de carvão no mundo, esse tem um limite de crescimento por dificuldade em transporte e por degradação ambiental gerada pela produção e pelo consumo. Enquanto isso, os biocombustíveis podem se tornar mais significativos na matriz energética, mas também não resolvem sozinhos a tensão entre demanda e fornecimento;

- As pressões ambientais estão crescendo. Mesmo se o fornecimento de combustíveis fósseis pudesse acompanhar o ritmo de demanda, o nível de emissão de CO_2 ainda permaneceria como um ponto relevante. Será um desafio contínuo para os países permanecer dentro dos limites de concentração do gás na atmosfera.

Quando se coloca esses principais *drivers* da questão energética mundial – demanda, fornecimento e efeitos no meio ambiente – sofrendo uma mudança significativa, entra-se numa era de transições e turbulências. O que a Shell se perguntou ao montar os cenários em energia é: os governos irão apenas lutar para assegurar o fornecimento de energia para seus respectivos países ou novos projetos irão emergir de coalizões entre diversos níveis da sociedade e do governo, partindo do local ao internacional, para acrescentar um novo quadro para o setor energético? Dessa pergunta surgiram os cenários em energia *Scramble* e *Blueprints*.

As informações disponibilizadas pela empresa acerca desses dois cenários revelam a elaboração de cenários narrativos, em que parâmetros e desempenho não são quantificados, mas o delineamento dos fatores futuros é definido.

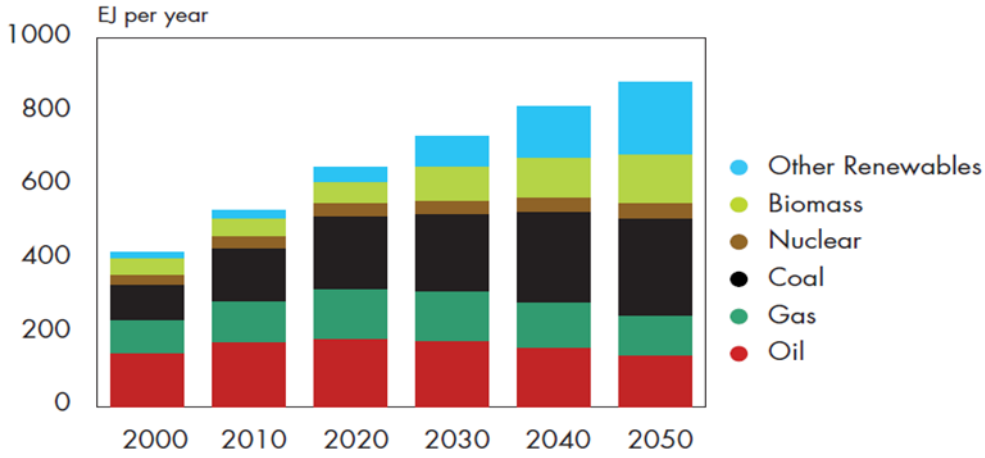
O cenário *Scramble* reflete um foco na segurança da demanda de energia, em que se têm ações voltadas para assegurar o fornecimento de energia para cada país e seus aliados. O cenário também é caracterizado pelo imediatismo das ações, sendo as políticas estabelecidas até que os limites de demanda se estreitam e as políticas ambientais sejam estabelecidas após acontecimento de eventos de grande impacto.

As forças políticas e as forças de mercado favorecem o desenvolvimento de carvão como uma vasta opção energética e de baixo custo. Entre 2000 e 2025, a indústria do carvão dobrará e até 2050 será 2,5 vezes maior. Para moderar o crescimento da utilização de carvão, uma vez que há dificuldades por pressão dos ambientalistas e por gastos com transporte, os países concluem que a energia nuclear deva crescer significantemente. Mas a energia nuclear possui dificuldade de expandir em uma escala global, principalmente por conta de problemas relacionados ao rejeito nuclear, investimentos e demora na construção de plantas e usinas nucleares.

Nesse cenário, os biocombustíveis tornam-se significantes, particularmente ajudando a diversificar o suprimento de combustíveis para o setor de transporte. O cenário tem como início o desenvolvimento de biocombustíveis de primeira geração. A primeira geração compete com indústria alimentícia, uma vez que utilizam a fermentação do amido contido nas plantas. Países sem condições ambientais para agricultura importam e forçam países que apresentam esse potencial a destruírem florestas para aumentarem a produção. O incentivo é grande para o desenvolvimento de biocombustíveis de segunda geração, que utilizam a fermentação de celulose presente em partes não comestíveis das plantas, cujo consumo final de energia deve se igualar à de biocombustível de primeira geração.

A figura 10 mostra o fornecimento de energia primária por fonte para esse cenário no horizonte até 2050.

Figura 20.10 – Energia primária por fonte [5]



O cenário *Blueprints* é composto por um sistema de desenvolvimento econômico constante e de integração global, sendo as ações tomadas tanto em nações desenvolvidas quanto em nações em desenvolvimento.

Enquanto as discussões internacionais não chegam a uma conclusão quanto às políticas a serem tomadas, organizações e indústrias do setor energético de interesses semelhantes formam parcerias; cidades e regiões também começam a se unirem para desenvolverem planos de ações conjuntos.

Os consumidores e os investidores percebem que a mudança não é necessariamente difícil, o que torna mais ações possíveis politicamente. Algumas ações que incluem taxas e incentivos quanto à relação energia e emissão de CO_2 são tomadas mais cedo. Embora o cenário mostre grandes transformações, a atividade econômica global continua vigorosa.

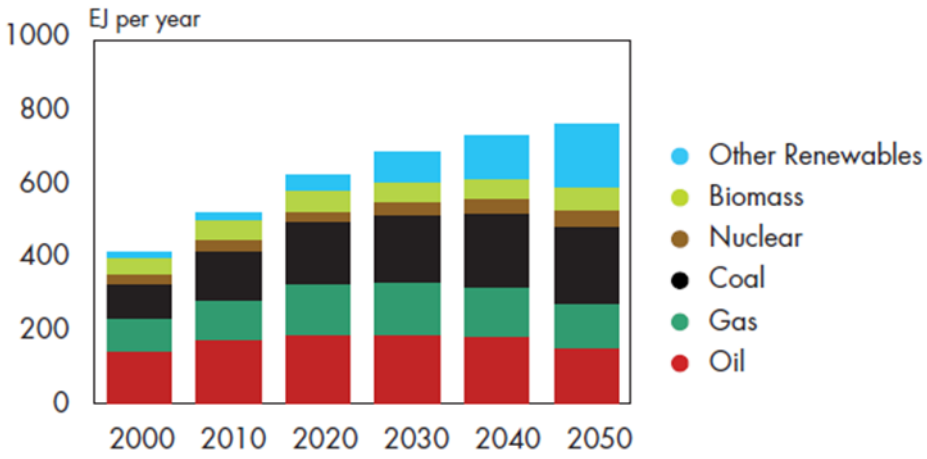
O cenário ainda apresenta um maior alinhamento entre os EUA, China, Índia, Japão e Europa sobre o gerenciamento da emissão de CO_2. A partir de 2012, várias nações participarão do mercado de crédito de carbono, estimulando a inovação e o investimento em novas tecnologias em energia. Os benefícios se estendem também para regiões mais pobres. Turbinas eólicas e painéis fotovoltaicos mais eficientes são exportados para áreas rurais e várias vilas na África terão fornecimento de energia eólica e solar. Os investimentos do governo se concentram no desenvolvimento de veículos elétricos, baterias, células a combustível e tecnologias híbridas.

Uma das transições-chave observadas no cenário é o crescimento econômico não estar mais está ligado ao crescimento no uso de combustíveis fósseis. A geração de energia por fontes renováveis está crescendo, enquanto indústrias que utilizam ainda carvão e óleo devem adotar medidas severas de redução de carbono. Por volta de 50% das indústrias dos países da OECD (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) irão ter sistema de captura e armazenamento de carbono.

A segunda e mais profunda transição se dá a nível político, onde existe uma sinergia crescente entre políticas nacionais e internacionais. Tem-se um maior alinhamento mundial, aumentando o impacto das ações e difundindo pelo mundo inovações e tecnologias de maneira mais fácil e rápida.

A figura 20.11 mostra o fornecimento de energia primária por fonte para esse cenário no horizonte até 2050.

Figura 20.11 – Energia primária por fonte [5]



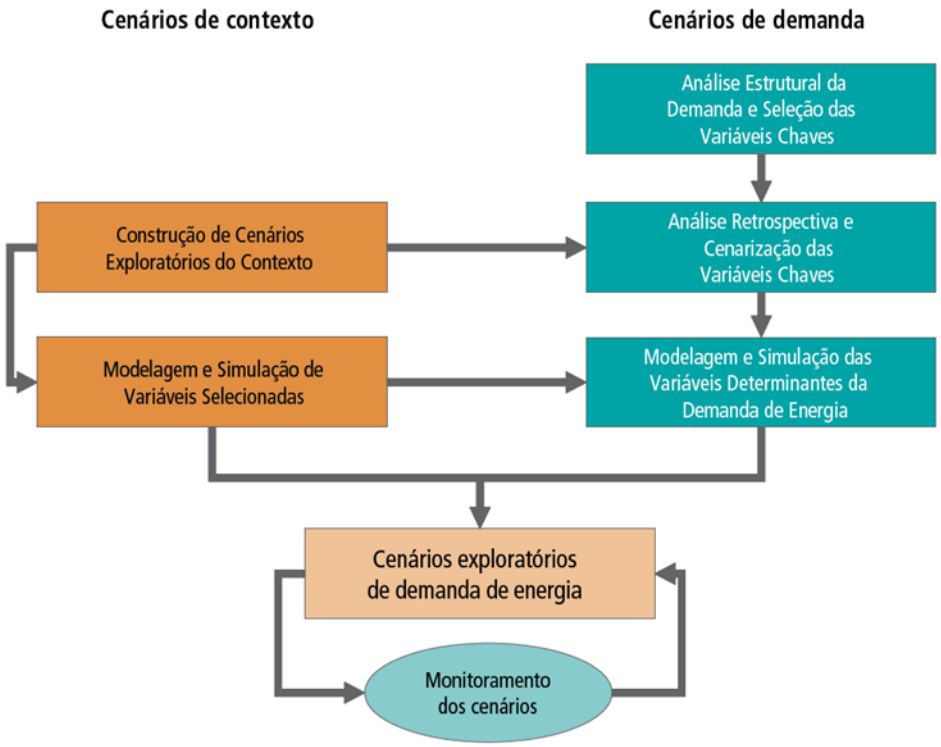
20.8.3 Cenário do Brasil

O processo de elaboração de projeções para o consumo de energia pressupõe a construção de cenários que constituem uma avaliação dos possíveis futuros do panorama econômico e energético, com o fim de fundamentar a definição e a escolha das estratégias mais apropriadas para o desenvolvimento do setor energético brasileiro diante de diferentes alternativas.

O Plano Nacional de Energia – PNE 2030, elaborado pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética – tem como objetivo o planejamento de longo prazo no setor energético do país, orientando tendências e balizando as alternativas de expansão desse segmento nas próximas décadas.

Para a elaboração dos cenários, a EPE definiu um processo em que a demanda de energia é uma variável de resultado, condicionada por ampla gama de fatores macroeconômicos, sociais, institucionais, ambientais e tecnológicos, que apresentam uma relação de interdependência entre si, configurando uma extensa rede de influências mútuas. O processo de trabalho para elaboração de cenários exploratórios de demanda de energia pode ser subdividido em duas macroetapas: a macroetapa dos cenários do contexto e a macroetapa dos cenários de demanda; a figura 20.12 representa as macroetapas do processo de elaboração de cenários exploratórios de demanda de energia.

Figura 20.12 – Macroetapas da elaboração de cenários de demanda de energia [6]



Cada macroetapa compreende fases que estão consonantes com a metodologia básica descrita no item Arquiteturas > Metodologias, partindo-se para uma análise retrospectiva e da situação atual para identificar e selecionar as variáveis centrais de futuro altamente incerto, formulando hipóteses plausíveis de desempenho das incertezas frente os condicionantes de cada contexto para, por fim, gerar os cenários exploratórios e quantificar as variáveis relevantes e a própria demanda de energia.

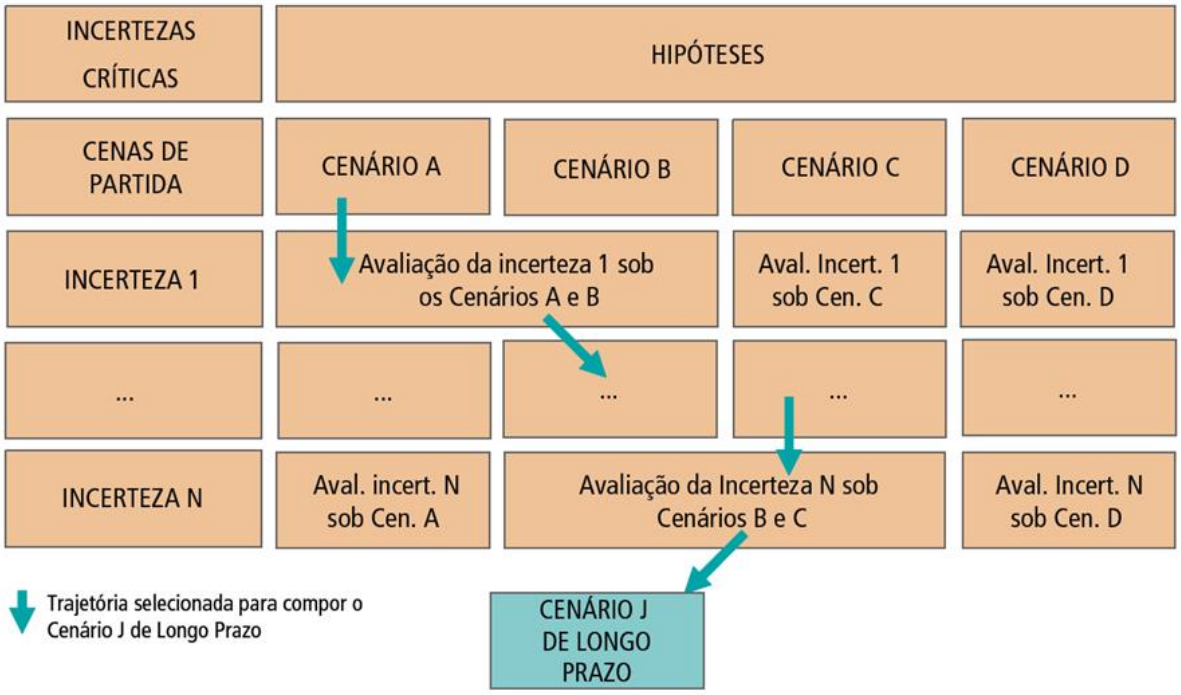
Para o início do procedimento por meio da análise de evolução recente do ambiente nacional e mundial, a EPE analisou os resultados obtidos pelo Plano Decenal de Energia Elétrica 2006-2015, bem como analisou os cenários desenvolvidos pela Shell e pela IEA, mencionados anteriormente.

De forma a incorporar as interrelações entre as diversas fontes de energia, foram realizadas reuniões com especialistas para estudar 27 temas específicos.

Seguiu-se a identificação dos condicionantes de futuro, utilizando uma análise estruturada considerando como níveis principais os sistemas que exercem algum grau de influência nas decisões tomadas pelos agentes envolvidos com a indústria de energia. Foram classificados seis sistemas: Ambiental, Sócio-Político, Econômico, Energético e dos *Stakeholders*.

Após a identificação dos condicionantes de futuro, para a construção de combinações lógicas e consistentes das hipóteses de evolução das incertezas mais relevantes para geração de cenários, utiliza-se da técnica de investigação morfológica. Com a matriz morfológica montada, conforme exemplifica-se na figura 20.13, consegue-se combinar hipóteses possíveis (células da matriz) e analisar cada combinação para descartar as inconsistentes ou menos consistentes.

Figura 20.13 – Exemplo da matriz de análise morfológica [6]



Após a análise morfológica, parte-se para a quantificação dos cenários, sendo necessário utilizar modelos matemáticos capazes de simular as hipóteses de partida e analisar a consistência da evolução.

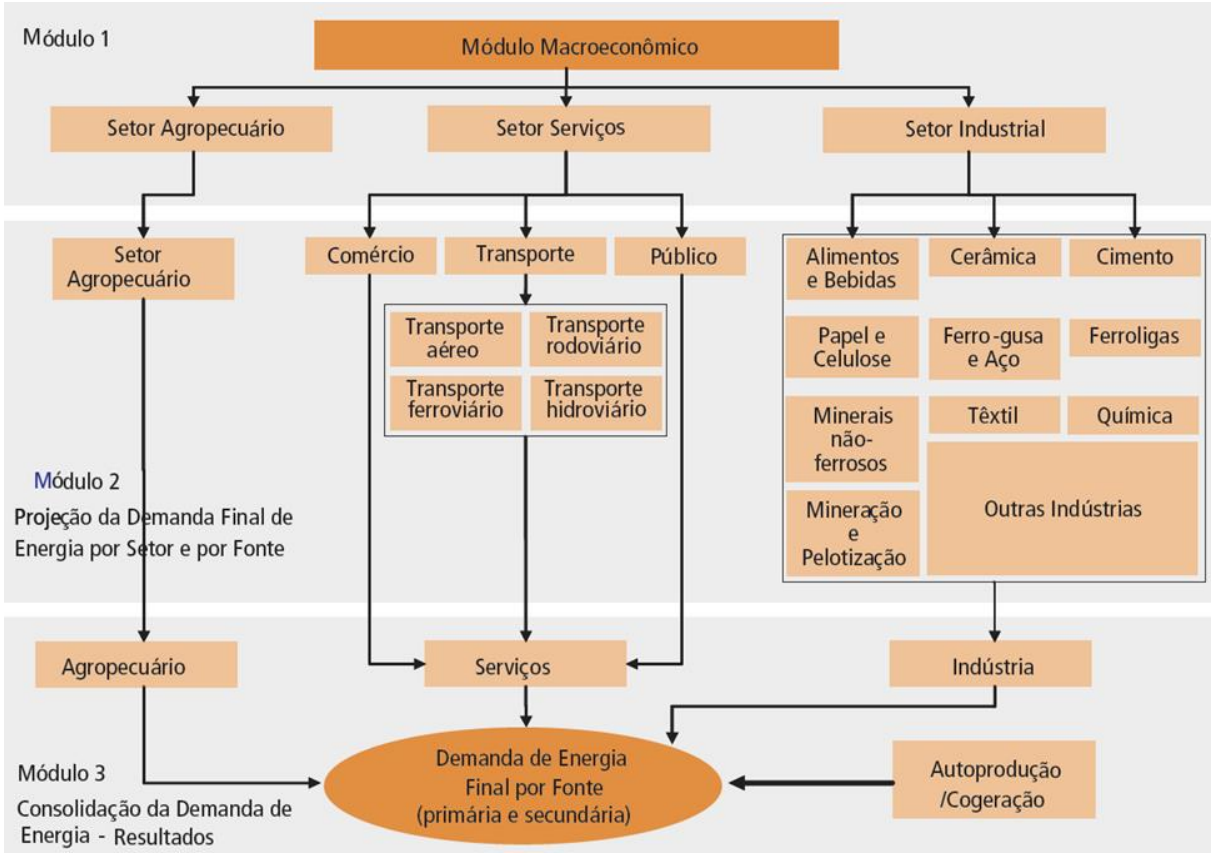
A estimativa da demanda de energia foi realizada pela ferramenta de simulação desenvolvida no Programa de Planejamento Energético da COPPE em 1997, o Modelo Integrado de Planejamento Energético - o MIPE.

O MIPE é um modelo que permite avaliar a implicação de cenários prospectivos de padrões de uso da energia para o Brasil para o horizonte de análise. Esse é um modelo técnico-econômico de projeção de demanda e de oferta de energia e de emissão de CO_2 advindo do uso de energia.

O modelo utiliza um conjunto de variáveis de entrada por segmento da demanda final de consumo de energia no mesmo grau de desagregação utilizado no Balanço Energético, ou seja, setor industrial (onze diferentes segmentos), comercial, residencial, público e de transportes.

Cabe ressaltar que o MIPE não gera o cenário em energia, gera a projeção da demanda de energia por cenário. A figura 20.14 mostra a estrutura básica do MIPE para a projeção setorial de demanda.

Figura 20.14 – Estrutura da projeção de demanda setorial – MIPE [6]



O MIPE encontra-se dividido em dois módulos:

- Módulo 1 – módulo macroeconômico – no qual se definem as variáveis de cenário e a evolução setorial do PIB. Os resultados obtidos neste módulo incluem: PIB anual; valor adicionado da indústria, agropecuária e de serviços; evolução da população urbana e rural; PIB per capita e número de domicílios por ano;

- Módulo 2 – módulo de demanda de energia – no qual se definem as variáveis de análise de cada segmento de cada setor, para obtenção das respectivas demandas de energia útil e final. Os resultados de demanda por energia final por segmento são consolidados respectivamente em um dos seguintes setores: indústria, comércio e setor público, transportes, residencial, e agropecuário;

- Módulo 3 – módulo de consumo final de energia – no qual se agregam os resultados do módulo anterior e os resultados do consumo de energia do setor energético.

Para a construção dos cenários do Brasil e a projeção da demanda energética em cada um, foi montada uma matriz em que se cruzou o posicionamento e administração das forças e fraquezas do país frente aos cenários mundiais previamente determinados. A combinação desse ambiente externo com a administração no ambiente interno originou quatro cenários possíveis do Brasil, descritos a seguir [6]:

- Na Crista da onda – esse cenário é caracterizado por um elevado nível de desenvolvimento econômico. Tem-se um crescimento econômico mais forte que ocorre em um ambiente institucional mais consolidado: por exemplo, a aplicação da regulação ambiental torna-se menos conflituosa, depois do correto entendimento da exploração sustentável dos recursos naturais. A inserção do país na economia mundial é feita de modo a potencializar as vantagens comparativas do país, que pode contar adicionalmente com uma marcada reversão da baixa competitividade dos fatores de produção: a qualificação da mão-de-obra é aumentada; a produtividade da economia sofre ainda um impulso no desenvolvimento tecnológico dado o ambiente favorável para pesquisa, desenvolvimento e inovação (P&D&I); e o desenvolvimento do mercado de crédito de longo prazo permite um maior investimento em máquinas e equipamentos.

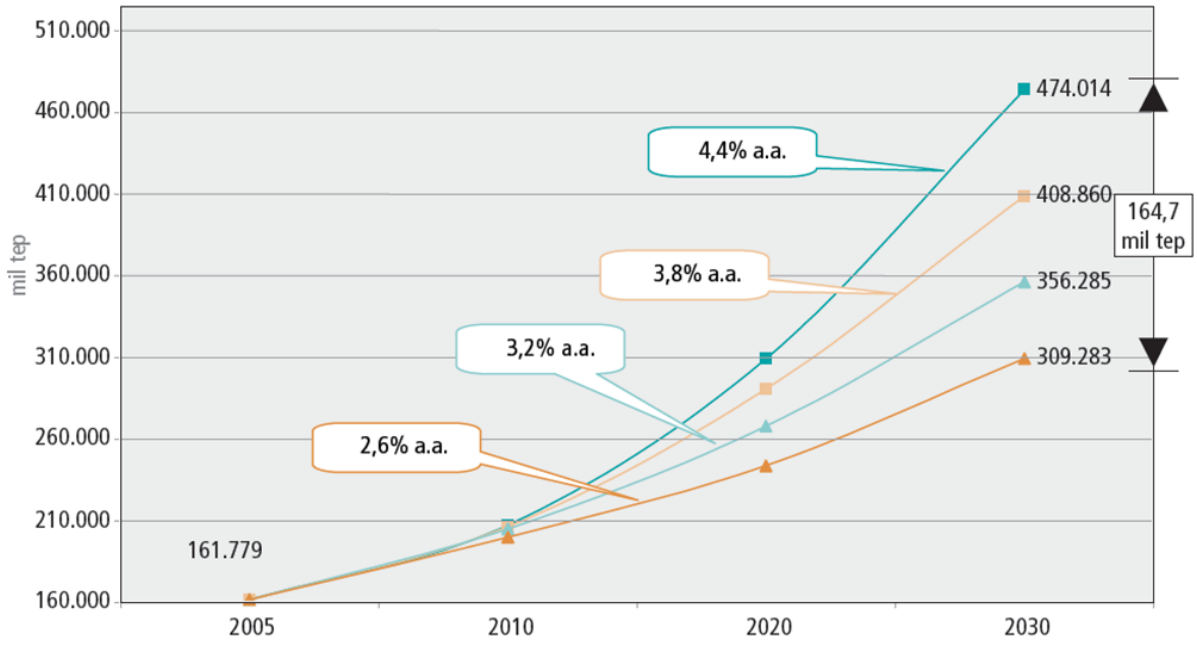
- Surfando a Marola – esse cenário é caracterizado pelo crescimento da economia brasileira superior a um crescimento mais moderado da economia mundial. É um cenário marcado principalmente pelo esforço das corporações nacionais na conquista por mercados internacionais, ainda mais porque o mundo, dividido em blocos econômicos, oferece oportunidades parciais de aproveitamento. A produtividade total dos fatores não alcança os mesmos elevados níveis do cenário anterior, pois fica mais concentrada em nichos específicos; as restrições de capital para P&D&I levam à alternativa de internalização, limitando o desenvolvimento tecnológico. Em um cenário de processo de consolidação institucional, a aplicação da regulação ambiental não ocorre sem que haja algum tipo de conflito entre crescimento e aproveitamento dos recursos naturais. O crescimento moderado impede que os gargalos em infraestrutura sejam totalmente resolvidos.

- Pedalinho – esse cenário apresenta um crescimento do país equivalente ao do cenário mundial, por causa da dificuldade em enfrentar os problemas estruturais internos. Por conta disso, o impacto sobre a infraestrutura é significativo com gargalos em vários setores, o que impede o país de obter taxas maiores de crescimento. As corporações nacionais procuram seu espaço dentro do bloco econômico ao qual o país pertence, mas a ausência de soluções estruturais para as principais questões internas gera um importante limitador nas possibilidades de mercado das empresas.

- Náufrago – nesse cenário o crescimento do Brasil torna-se no máximo igual à da média mundial. As vantagens comparativas não são potencializadas e as oportunidades de crescimento, mesmo em um ambiente externo mais conturbado, são desperdiçadas. A paralisação das reformas microeconômicas aumenta o impacto das más condições da infraestrutura, com gargalos expressivos em diversos setores. A falta de investimento na economia mantém o quadro de baixa competitividade dos fatores de produção, com um ambiente desfavorável para P&D&I (o que inviabiliza o desenvolvimento tecnológico e o progresso técnico).

A trajetória do crescimento econômico de cada cenário reflete na evolução do cosumo final de energia, conforme pode ser visto na figura 20.15.

Figura 20.15 – Evolução do consumo final de energia por cenário [6]



Da mesma forma que a projeção elaborada pela IEA, com uma quantificação por fonte geradora de energia ou vetor energético, a EPE elaborou a projeção por fonte primária, conforme mostrado na Tabela 20.3, focando as principais fontes no Brasil (derivados de petróleo, biomassa como lenha, lixívia e carvão) e as fontes alternativas foram projetadas juntas no grupo eletricidade, diferente da OEA que apresenta uma projeção desagregada dessas fontes.

Tabela 20.3 – Evolução da demanda total de energéticos [6]

	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gás natural (mil m³)													
Consumo total	117	490	1.082	3.027	4.163	5.322	10.091	20.978	37.944	53.890	59.439	74.460	87.519
Transformação	37	76	79	488	749	887	2.126	5.934	12.032	18.707	15.947	17.989	24.177
Consumo final	80	414	1.003	2.539	3.414	4.435	7.965	15.044	25.912	35.184	43.492	56.471	63.342
Petróleo (mil m³)													
Consumo total	29.833	51.156	63.162	62.952	68.098	71.150	92.437	98.827	107.035	147.115	166.845	179.176	191.507
Transformação	29.833	51.156	63.162	62.952	68.098	71.150	92.437	98.827	107.035	147.115	166.845	179.176	191.507
Lenha (1000 t)													
Consumo total	102.788	106.991	100.309	106.252	92.091	75.069	74.410	91.676	90.587	92.248	90.322	95.136	98.771
Transformação	11.316	23.606	29.757	41.963	41.632	32.971	30.434	39.678	36.436	40.142	35.743	36.252	37.509
Consumo final	91.472	83.385	70.552	64.289	50.459	42.098	43.976	51.998	54.152	52.106	54.579	58.884	61.262
Carvão metalúrgico (1000 t)													
Consumo total	2.475	3.114	5.694	9.476	10.287	11.818	13.226	14.016	14.856	21.365	22.147	23.857	26.108
Transformação	2.475	3.114	5.694	9.476	10.287	10.984	9.861	9.721	8.824	12.531	12.934	13.247	14.309
Consumo final	0	0	0	0	0	834	3.365	4.295	6.031	8.833	9.213	10.611	11.799
Eletricidade (1000 mwh)													
Consumo total	39.668	69.852	122.705	173.564	217.657	264.805	331.638	375.193	486.491	602.554	707.282	852.291	1.056.796
Consumo final	39.668	69.852	122.705	173.564	217.657	264.805	331.638	375.193	486.491	602.554	707.282	852.291	1.056.796
Carvão vegetal (1000 t)													
Consumo total	2.462	5.143	6.615	9.573	9.504	7.611	7.455	9.671	9.259	10.197	9.075	9.201	9.515
Consumo final	2.462	5.143	6.615	9.573	9.504	7.611	7.455	9.671	9.259	10.197	9.075	9.201	9.515
Etanol (1000 m3)													
Consumo total	598	532	3.168	9.019	12.390	14.512	12.386	13.989	17.504	25.566	32.442	40.739	52.499
Consumo final	598	532	3.168	9.019	12.390	14.512	12.386	13.989	17.504	25.566	32.442	40.739	52.499
Energia hidráulica (1000 mwh)													
Consumo total	39.801	72.287	128.907	178.375	206.708	253.905	304.403	337.457	412.098	488.383	592.501	713.145	835.288
Transformação	39.801	72.287	128.907	178.375	206.708	253.905	304.403	337.457	412.098	488.383	592.501	713.145	835.288
Urânio (1000 kg)													
Consumo total	0	0	0	0	0	76	200	455	455	746	971	1.196	1.646
Transformação	0	0	0	0	0	76	200	455	455	746	971	1.196	1.646

A tabela completa da evolução da demanda de energéticos é encontrada no Plano Nacional de Energia 2030 – v.2, conforme indicado nas referências bibliográficas.

20.8.4 Cenário de Minas Gerais

Os cenários de Minas Gerais foram elaborados em um projeto em conjunto entre o Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ e a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). O objetivo principal desse projeto, intitulado "Matriz Energético de Minas Gerais 2007-2030", foi realizar análises prospectivas da oferta e demanda das diversas fontes de energia no Estado de Minas Gerais até o ano de 2030. Dessa forma, empreendendo-se

um planejamento energético em nível estadual, pretende-se reduzir vulnerabilidades sistêmicas e aproveitar as oportunidades de negócios que se colocam no setor energético.

Os elaboradores definiram as incertezas críticas para a projeção da matriz energética, principalmente aquelas relativas [7]:

i) às expectativas de crescimento econômico macro e setorial no Brasil e nos Estados;

ii) às trajetórias produtivas e tecnológicas dos setores;

iii) à parcela das fontes de energia;

iv) à atração de investimentos em infraestrutura de oferta de energia necessários para atender a demanda projetada para o longo prazo;

v) à evolução adequada dos arranjos institucionais e do marco regulatório requeridos para a viabilização dos investimentos, para a boa gestão dos negócios e para o balanceamento dos interesses dos diferentes agentes econômicos e sociais.

A identificação das trajetórias de evolução possíveis para as incertezas críticas, fatores portadores de futuro, pressupõe [7]:

i) o levantamento do estado econômico, produtivo e tecnológico dos setores relevantes ou potencialmente relevantes;

ii) o levantamento do estado da arte internacional das tecnologias aplicáveis aos diferentes setores;

iii) a identificação das perspectivas econômicas e tecnológicas dos setores considerados;

iv) as perspectivas dos preços de energéticos e de custos de investimentos de equipamentos de consumos mais modernos e da infraestrutura de oferta.

Para se definir os parâmetros dos cenários, utilizou-se os modelos MAED e MESSAGE, elaborados pela IAEA – Agência Internacional de Energia Atômica e pela IIASA – Instituto Internacional de Análise Aplicada de Sistemas.

O MAED – Modelo de Análise de Demanda Energética é um modelo paramétrico de simulação da demanda de energia útil para diferentes usos finais. As variáveis-chaves de simulação do modelo MAED são os rendimentos dos equipamentos de consumo e os níveis de atividade econômica ou atividade física, conforme o setor de consumo.

O MESSAGE – Modelo para Estratégias Alternativas de Fornecimento de Energia e seus Impactos Ambientais Gerais seleciona os meios de produção de energia para atender a demanda de energia útil de forma a minimizar os custos de operação e manutenção ao longo do período observado, para todo o sistema energético. Por sua formulação, o modelo analisa as substituições possíveis entre fontes energéticas nos diferentes centros de transformação, através do nível de consumo final, sob restrições de potencial disponível (reservas e capacidade de ge-

ração e transmissão elétrica) e níveis de impacto ambiental (padrões máximos de emissões atmosféricas, por exemplo).

Buscando abranger as trajetórias possíveis para a economia de Minas Gerais, foram elaborados dois cenários que se diferem entre si qualitativamente: Referência e Alternativo. Em um prazo mais curto (de 2005 a 2010), os dois cenários não chegam a distinguir um do outro, uma vez que não há tempo para as mudanças impulsionadas por políticas surtirem efeitos. No médio prazo os cenários começam a se distinguir em função das políticas e ações adotadas no curto prazo. A partir de 2020, as diferenças entre os dois cenários se acentuam na medida em que as políticas e ações se intensificam no médio prazo e o crescimento acelera para o nível de 5% ao ano.

O cenário Referência não considera transformações qualitativas nas trajetórias produtivas mineiras além daquelas delineadas nos últimos anos. A estrutura produtiva do Estado continua centra em dois setores-chaves, metalurgia e siderurgia, não havendo integração entre as cadeias produtivas do Estado.

Nesse cenário, o uso final de energia cresce a uma taxa anual média de 4,03% atingindo, em 2030, o patamar de 67.296 mil tEP, sendo esse valor em 2005 equivaleu a 25.047 mil tEP. A oferta interna bruta de energia em 2030 é de 85.466 mil tEP. Comparando-se com 2005, a oferta interna de energia em Minas Gerais equivaleu a 31.144 mil tEP. O Estado de Minas Gerais torna-se fundamentalmente dependente da importação de energia. Em 2030, a importação de petróleo, gás natural e carvão mineral atingem, respectivamente, 11.255 mil tEP, 6.592 mil tEP e 19.812 mil tEP. Também são relevantes as importações líquidas de diesel, GLP e eletricidade, que em 2030 alcançam, respectivamente, 8.584 mil tEP, 799 mil tEP e 26,9 TWh. Para atender aos setores-chaves, torna-se contínuo o aumento na importação de carvão metalúrgico. [7]

No cenário Referência, ainda, Minas Gerais passa a importar gasolina em 2030.

O cenário Alternativo é caracterizado por transformações qualitativas na trajetória produtiva, de forma que o ritmo é acelerado de incorporação de progresso técnico e de alterações na estrutura produtiva em direção a segmentos de maior valor agregado e de menores coeficientes de intensidade energética e de impactos ambientais.

Nesse cenário, o crescimento médio anual do uso final de energia é de 3,42%, chegando a um total de 58.062 mil tEP em 2030. A oferta interna bruta de energia alcança 73.739 mil tEP em 2030 [7].

A mudança estrutural notada entre o cenário Alternativo e o Referência está no ganho de eficiência e uso racional de energia daquele em relação a esse, levando a uma diferença de 16% na oferta interna bruta de energia entre os cenários.

Nesse cenário, o Estado de Minas Gerais também torna-se dependente fundamentalmente de importação de energia, embora em menor grau que o cenário Referência, devido a dois fatores principalmente: menor nível de demanda em função de políticas de conservação de energia e maior disponibilidade de bagaço para geração elétrica devido a uma maior produção de etanol para uso no setor automotivo e para exportação.

A simulação feita no modelo MESSAGE identificou alguns pontos críticos e gargalos no setor energético mineiro:

- O potencial de produção de etanol no Estado de Minas Gerais pode, no futuro, se deparar com limitações de infraestrutura (produtiva e de escoamento). Pelos cenários elaborados, esse seria o principal produto energético exportado por Minas Gerais em 2030. Isso se torna especialmente importante frente à necessidade de incremento de geração de energia elétrica num ambiente de esgotamento do potencial

hidrelétrico do Estado. A geração de eletricidade a bagaço é a principal opção renovável de Minas Gerais no atendimento da demanda futura por energia elétrica, e ela depende da produção de etanol no Estado;

- A oferta de diesel é uma variável crítica do setor energético mineiro. A partir de um conjunto de opções tecnicamente viável para modificações da REGAP – Refinaria Gabriel Passos pertencente à Petrobras e situada na região de Betim, escolheu-se por modificar a refinaria, aumentando em 50% a capacidade de processamento de óleo cru e convertendo mais resíduos para diesel. Entretanto, isso não diminuiu o nível de dependência de diesel no Estado de Minas Gerais;

- A demanda por carvão metalúrgico será sempre alta vista a setores-chaves da economia de Minas Gerais. Isso ocorreria mesmo explorando ao máximo a capacidade de produção de carvão vegetal no Estado.

A simulação permitiu identificar a importância crescente do uso da biomassa moderna para fins energéticos, considerando o etanol, o bagaço e o carvão vegetal. A cogeração a bagaço de cana é uma opção de geração para o abastecimento de eletricidade no Estado. As simulações indicam que, em função da insuficiência do potencial hidrelétrico do Estado em atender o acréscimo da demanda, tecnologias mais avançadas de cogeração (como turbinas de condensação e extração) se tornam viáveis economicamente. Sendo assim, como a cogeração a bagaço está ligada à produção de etanol, as políticas para o setor elétrico devem ser integradas às do setor sucroalcooleiro, especialmente visando promover o investimento em ciclos mais termodinâmicos avançados.

O potencial eólico de Minas Gerais também é viabilizado pelo aumento no preço da energia, tendo uma capacidade instalada de 50 MW. Outra opção de geração renovável para o Estado seria a incineração de resíduos sólidos urbanos que pode representar um acréscimo de capacidade quase equivalente a uma hidrelétrica de grande porte (293 MW), além de oferecer uma possibilidade de disposição final dos resíduos com importantes vantagens ambientais.

20.8.5 Empresas envolvidas na elaboração de cenários

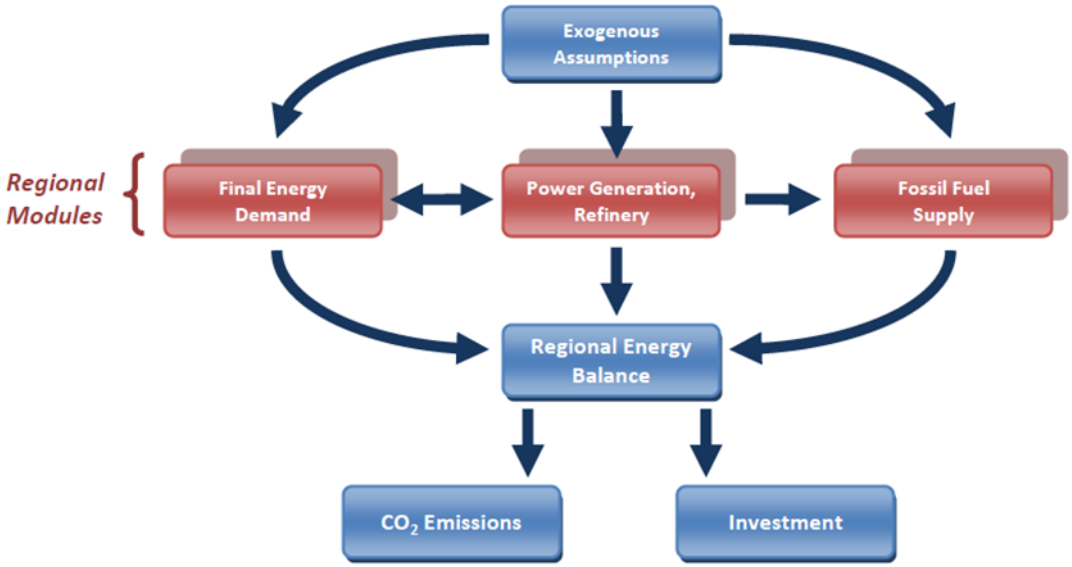
Algumas organizações estão envolvidas com a elaboração de cenários em energia. Cada uma possui uma metodologia diferente e os cenários elaborados possuem fins distintos. Algumas dessas organizações foram mencionadas anteriormente, ficando a cargo desse tópico apenas uma apresentação formal das organizações de caráter mais relevante no panorama da análise prospectiva por cenários.

20.8.5.1 IEA – Agência Internacional de Energia

A agência foi fundada durante a crise do petróleo na década de 70. É formada por 28 países membros e tem como função garantir o fornecimento de energia confiável a preço acessível e limpa para todos os países membros. [8] Tem como um dos principais trabalhos o *World Energy Outlook*, publicado anualmente, onde se encontra a análise dos cenários elaborados pela organização, com horizonte até 2035. Os cenários com horizonte até 2050, conforme aqueles mostrados no tópico Cenário Mundial – IEA, estão presentes no *Energy Technologies Perspectives 2008 – Scenarios and Strategies to 2050*, construído com base no *World Energy Outlook*. Os dados dos cenários são, assim, constantemente atualizados para garantir maior embasamento para as decisões a serem tomadas. A IEA também elabora rotas tecnológicas – *Technology Roadmaps* que são formas de planejamento tecnológico visando a inovação e a estabelecer os marcos do desenvolvimento tecnológico que devem ocorrer para se atingir determinada projeção de uma situação.

Para a projeção da demanda energética, a IEA utiliza o *World Energy Model*. Esse modelo matemático é composto por seis módulos: demanda final de energia; geração de energia; refinaria e outras transformações; fornecimento de combustível fóssil; emissão de CO_2 e investimentos. A figura 20.16 apresenta uma visão simplificada da estrutura do modelo:

Figura 20.16 – Visão Geral do *World Energy Model* [9]



As principais considerações exógenas abrangem o crescimento econômico e demográfico, preços internacionais de combustíveis fósseis e o desenvolvimento tecnológico. O consumo de energia e o preço da eletricidade conectam a demanda final de energia e os módulos de geração de energia. O modelo de refinaria projeta requisitos de rendimento e capacidade baseados numa demanda mundial de petróleo. A demanda primária de combustíveis fósseis serve como elemento de entrada nos módulos de fornecimento. Balanços energéticos são compilados a um nível regional e as emissões de CO_2 de cada região são calculadas usando fatores de carbonos procedentes dos balanços.

20.8.5.2 WEC - World Energy Council

O *World Energy Council* é um fórum mundial de líderes de 93 países e organizações que visam à promoção do fornecimento e uso sustentável de energia[10].

Na construção dos seus cenários, assim como mencionado para o caso da Shell, são abordados pontos-chaves para os cenários em energia abrangidos pelo estudo, sendo eles: pressão no fornecimento, envolvendo risco na segurança das fontes mundiais; pressões na demanda por conta da projeção do crescimento econômico e das expectativas de demanda dos consumidores e industrias; pressões ambientais e ações políticas e sociais; e pressões políticas relacionadas a potenciais ações em regiões chaves como Oriente Médio, Rússia, América Latina e África central, sendo que a grande questão é saber se os países irão utilizar as suas fontes de energia para conseguirem maior influência política no mundo [11].

Os cenários de políticas energéticas tiveram como eixos de determinação o apoio político, cooperação e integração.

A metodologia adotada pelo WEC inclui a análise de grupo com verificações de consistência por meio de simulações matemáticas. Essencialmente, essa parte é um *Delphi* modificado.

Grupos regionais desenvolveram diversos *workshops* para a definição do comportamento futuro quanto a [11]:

- Acessibilidade: nível mínimo de serviços em energia é disponível a preços acessíveis e de forma sustentável;

- Disponibilidade: relacionado à perenidade do fornecimento e à qualidade a curto prazo do serviço. Escassez de energia pode provocar prejuízos ao desenvolvimento econômico, mostrando a necessidade de se manter todas as opções de fornecimento de energia;

- Aceitabilidade: relativa a questões públicas e ambientais, envolvendo degradação da terra, emissão de gases estufa, segurança quanto à energia nuclear, impactos da construção de grandes barragens e do grande número de empreendimentos de biomassa.

Cada região teve a sua descrição do panorama de energia desenvolvida, iniciando em 2005 até 2050 em intervalos de 15 anos.

Para provar a consistência do resultado dos grupos, um modelo de matemático foi utilizado para comparar dados quantitativos com as respostas qualitativas de cada grupo. Essa comparação pode mostrar inconsistências e conflitos entre o grupo e o modelo, apontando para mudanças nas suposições iniciais ou nos dados de entrada do modelo.

20.8.5.3 Shell

A Shell é uma empresa petroquímica e de energia e tem seu destaque no mercado por aplicar a técnica de cenários durante a década de 70, o que levou a empresa a sobreviver à crise do petróleo e, em seguida, a assumir a liderança mundial no setor.

A companhia elaborou e disponibilizou os cenários no documento *Shell Energy Scenarios to* 2050[5]. Esses cenários disponibilizados diferenciam-se dos outros apresentados no tópico Análises por serem cenários em energia mais narrativos, tratando de questionamentos e decisões a nível de organização internacional, esferas políticas e econômicas.

20.8.5.4 COPPE UFRJ

A COPPE UFRJ - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia é uma instituição de pós-graduação referência em ensino e pesquisa em engenharia da América Latina. Dentro dos diversos programas de pós-graduação, destaca-se o PPE – Programa de Planejamento Energético.

Esse programa de pós-graduação, atualmente maior grupo brasileiro de pesquisa e ensino no campo de energia, desenvolve estudos e projetos para adoção de modernas técnicas de planejamento energético no País em parceria com grandes empresas no setor, como Petrobras e Eletrobras, que possuem a cultura de balizar as suas decisões estratégicas pelo planejamento energético construído[12].

Por meio do PPE, a COPPE UFRJ participou da elaboração do estudo "Matriz Energético de Minas Gerais 2007-2030", que tem como objetivo realizar análises prospectivas de oferta e demanda das diversas fontes de energia no Estado de Minas Gerais, cuja metodologia envolveu a análise crítica e adequação de dois modelos, MAED e MESSAGE, elaborados pela Agência Internacional de Energia Atômica. A descrição desses modelos e da metodologia adotada pela COPPE encontra-se no tópico Análises – Cenários de Minas Gerais.

20.8.5.5 EPE – Empresa de Pesquisa Energética

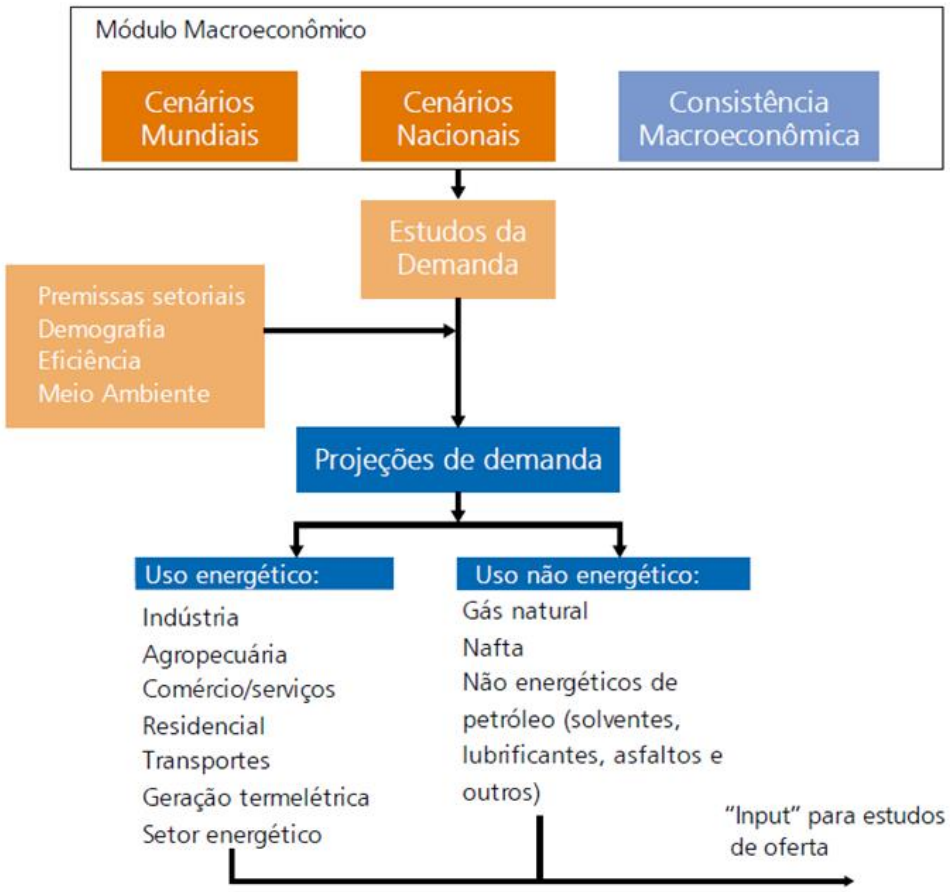
A Empresa de Pesquisa Energética é uma empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, criada 2004 conforme excerto a seguir:

"A Empresa de Pesquisa Energética - EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras." (ART 2º DA LEI 10.847 DE 15 DE MARÇO DE 2004).

A EPE é responsável por lançar anualmente o Balanço Energético Nacional – BEM e o Plano Decenal de Expansão do Setor Energético. Esse plano tem horizonte estratégico de 10 anos, incorporando uma visão integrada da expansão da demanda e oferta de recursos energéticos. O plano define ainda um cenário de referência que orienta as decisões dos agentes de mercado de energia, objetivando assegurar a expansão equilibrada da oferta energética, com sustentabilidade técnica, econômica e ambiental.

Para a elaboração dessa projeção no horizonte de 10 anos, é utilizado o cenário referência contido no Plano Nacional de Energia – PNE 2030. O processo adotado para projeção do Plano Decenal é mostrado na figura 20.17.

Figura 20.17 – Representação do processo de projeção da demanda de energia [13]



A EPE foi responsável pelos estudos que originaram o Plano Nacional de Energia – PNE 2030. O processo de elaboração do PNE 2030 encontra-se descrito no tópico Análises – Cenários Nacionais.

20.9 Estudo de caso

Para exemplificar o uso de cenários em energia como ferramenta de projeção e seu impacto nas decisões de uma organização, será apresentado aqui um estudo de caso de energias futuras desenvolvido pelo CGEE – Centro de Gestão de Estudos Estratégicos[15].

O estudo desenvolvido pelo CGEE teve como objetivo realizar uma revisão do estado da arte das principais tecnologias de energia tendo como horizonte os períodos de 2030 e 2050, analisando também as tendências apontadas com relação à evolução do consumo de energia e os desafios e oportunidades para o setor energético em áreas consideradas de interesse público.

Para realizar o estudo, o CGEE utilizou como metodologia o estado da arte de 60 tecnologias e processos em energia (incluindo P&D e perspectiva de implementação comercial), uma matriz de desafios para o setor energético (de forma a priorizar os esforços em pesquisa e desenvolvimento para cada tecnologia) e projeções de produção de energia primária. Esses três elementos possibilitaram confeccionar um módulo integrador, que mapeia

a relevância dos esforços necessários para pesquisa e desenvolvimento com uma visão integrada de todo o sistema energético.

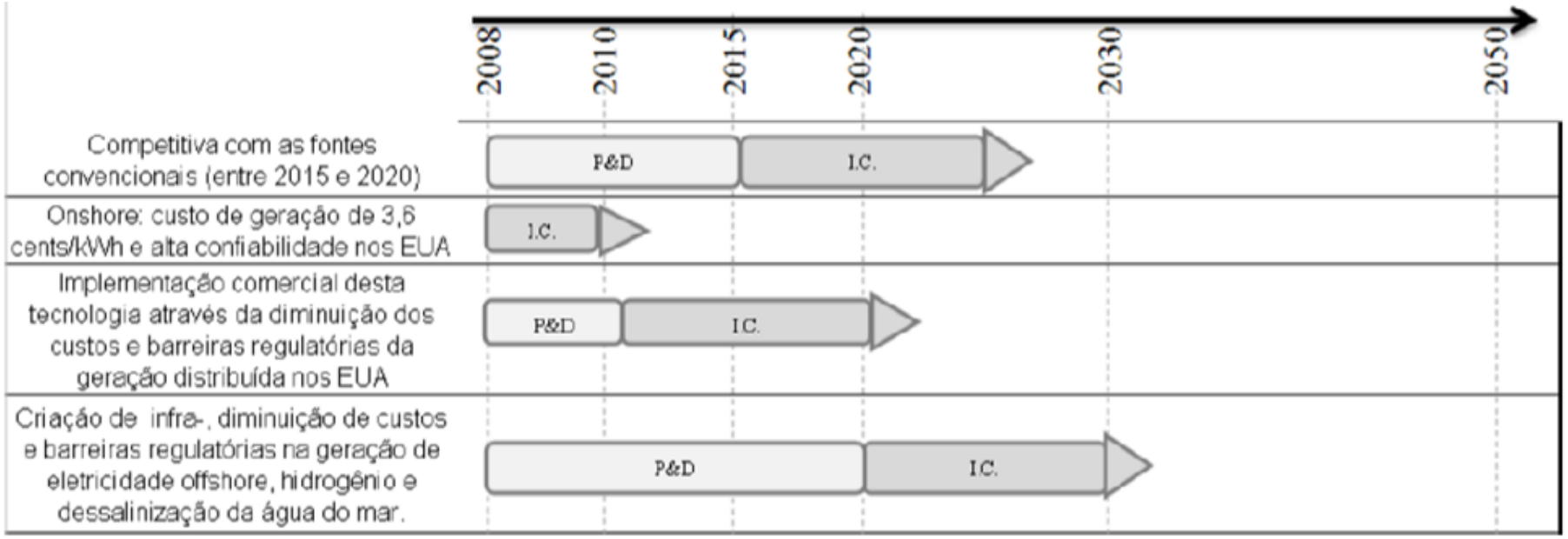
A lista de tecnologias avaliadas podem ser agrupadas em quatro grupos principais como: geração de eletricidade; combustíveis e calor; transmissão, transporte, distribuição, usos finais e outros; e tecnologias comuns (de interface). A lista completa com a análise de cada uma das tecnologias pode ser encontrada no documento CGEE – Energias do Futuro Relatório Final[15]. Para exemplificar essa análise cronológica, pega-se o caso de geração de eletricidade a partir de energia eólica.

A participação de energia eólica na geração mundial de eletricidade pode varia de 5% a 29,1% em 2030 e de 6,6% a 34,3% em 2050, dependendo do cenário avaliado [14]. As turbinas eólicas têm apresentado aumento consistente em tamanho e geração, superando a capacidade de 6000 kW com rotor de diâmetro de 126 metros, reforçando a tendência de os sistemas eólicos serem tecnologias atualmente comerciais e com alta viabilidade técnica. Entretanto, para que a eletricidade gerada torne-se completamente competitiva com as tecnologias de geração convencionais, requer-se maior redução de custos.

De acordo com o Departamento de Energia dos Estados Unidos, os custos de geração de eletricidade variavam de US$ 4-9 centavos/kWh em fazendas eólicas em 2008, esperando-se que caiam para US$ 3,6 centavos/kWh a partir de 2012.

No Brasil, que possui capacidade instalada de 1GW, o regime de ventos complementa o regime hídrico de rios e bacias nos períodos de seca, o que minimiza os riscos de déficit da capacidade de armazenamento nas barragens durante as estações secas críticas. Do ponto de vista tecnológico, o país ainda tem o desafio de desenvolver tecnologias de torres, de pás, geradores e componentes. A figura 20.18 mostra os principais marcos para o desenvolvimento tecnológico no campo de energia eólica.

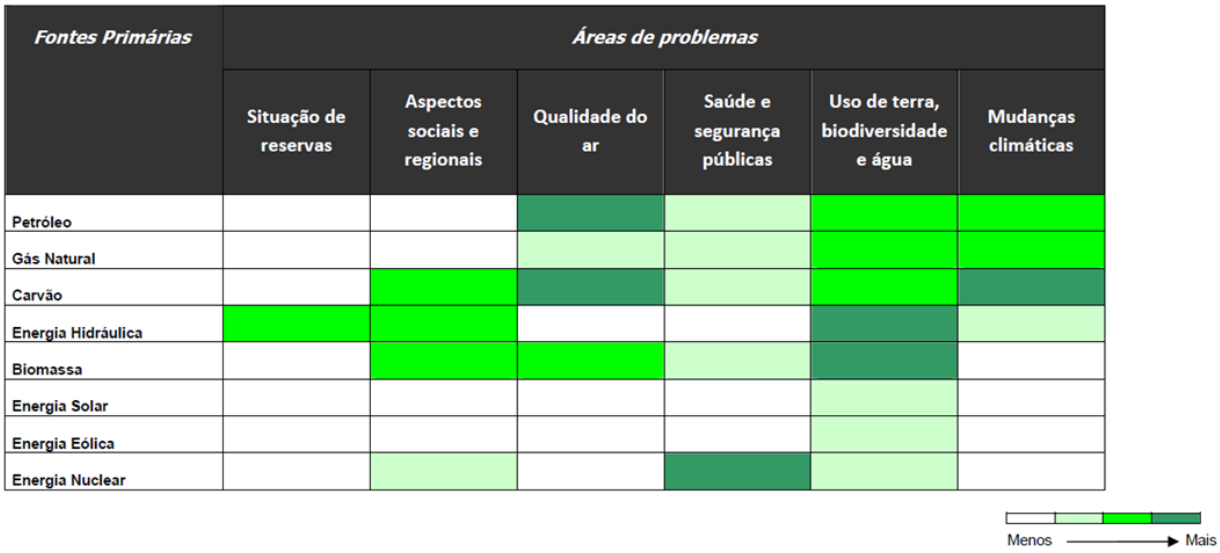
Figura 20.18 – Marcos de pesquisa e desenvolvimento e de implementação comercial para energia eólica [15]



O outro elemento metodológico adotado pelo CGEE foi a matriz de desafios, cuja formulação foi baseada em estudos de planejamento de longo prazo para elaboração de portfólios de P&D na área de energia para os EUA. A matriz aponta as áreas de agravamento de problemas considerando a manutenção de tecnologias correntes e a manutenção da matriz energética nacional. As conclusões retiradas para o caso do Brasil conferem a importância para as diferentes tecnologias de energia e destacam as ações prioritárias para P7D em energia.

Os critérios escolhidos para integrar a matriz de desafios foram: situação das reservas; aspectos sociais e regionais; qualidade do ar; saúde e segurança públicas; uso da terra e água e ameaças à biodiversidade; e mudanças climáticas. Foram considerados quatro níveis de impacto para as principais fontes de energia primária consumidas no país, cujo perfil de consumo foi analisado pelos cenários construídos pela EPE. A matriz de desafios construída é mostrada na figura 20.19.

Figura 20.19 – Matriz de desafios para 2030 [15]



O terceiro elemento metodológico é a demanda futura de energia, onde os cenários em energia se fazem mais presentes. Os principais aspectos analisados são a transição para um sistema energético sustentável, que representa grandes desafios para promover a substituição de tecnologias e processos em uso, para adaptar e criar estruturas para transportar e distribuir energéticos de origem renovável e/ou produzidos de maneira descentralizada.

Para analisar uma perspectiva global, o estudo baseou-se nos cenários construídos pela Agência Internacional de Energia e presentes no documento *Energy Technology Perspectives 2006 - Scenarios & Strategies to 2050*, cuja revisão gerou os dados apresentados no tópico Análise – Cenários Mundiais.

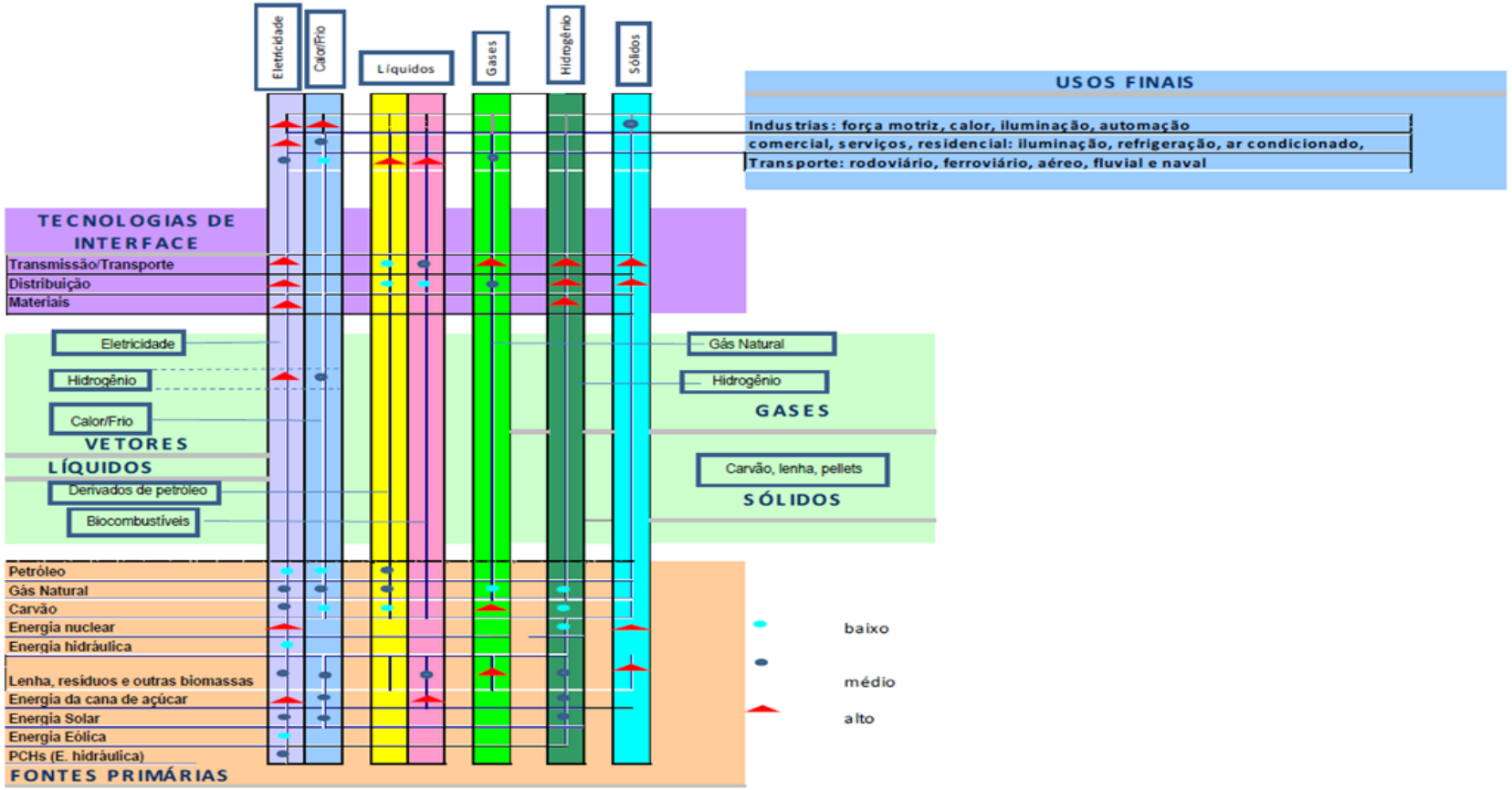
A análise da projeção nacional foi feita com base no cenário de tendência do Plano Nacional de Energia – PNE 2030, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética.

As projeções para o caso do Brasil mostram a prevalência do combustível líquido no consumo final de energia, tendo maior participação o etanol e o biodiesel. A eletricidade aumenta sua participação no consumo final de energia, sendo a segunda forma de energia mais importante para o período.

Esses três elementos metodológicos originaram um diagrama que representa o fluxo energético desde fontes primárias até usos finais, sendo as necessidades de P&D representadas nas interseções das diferentes conversões

entre formas de energia. Esse diagrama, denominado Módulo Integrador mostrado na figura 20.20, sintetiza os níveis de esforços em P&D necessários no horizonte de 2030-2050.

Figura 20.20 – Módulo integrador [15]



O Módulo Integrador construído mostra que grande parte dos esforços de P&D estão mais concentrados no desenvolvimento de tecnologias de interface e nas tecnologias de uso final. Mostra ainda a necessidade de maiores esforços na conversão particularmente a partir de fontes como biomassa, energia nuclear e hidrogênio, sendo nesse último os maiores desafios na área de materiais (armazenamento), sistemas de transporte e de distribuição.

Realizando uma análise final do trabalho desenvolvido pelo CGEE e a construção do Módulo Integrador, consegue-se posicionar as projeções feitas pela técnica de cenarização no processo de priorização de projetos em pesquisa e desenvolvimento. Os cenários se apresentam como principal norteador das tecnologias e processos cujo desempenho é de alta relevância e impacto na matriz energética futura.

Como citado no início deste documento, os cenários possuem sua importância por tornarem claro o desempenho do objeto de estudo no horizonte considerado. Entretanto, mais que ser assertiva quanto aos dados gerados, a importância da técnica reside na avaliação do caminho a ser percorrido do estado atual à projeção futura. Com a ciência do que é objetivo dos cenários, a complementaridade de um estudo de priorização de esforços em P&D, seja feito por uma estrutura semelhante ao Módulo Integrador do CGEE ou por meio de uma matriz de relevância para cada tecnologia, e a análise prospectiva por cenários se torna clara e efetiva para balizar os investimentos tecnológicos necessários.

O estudo de caso do CGEE explicita essa convergência esperada de uma revisão bibliográfica do desenvolvimento tecnológico em perspectivas de especialistas mundiais e de iniciativas de empresas em torno de cada tecnologia com uma projeção da matriz energética nacional para 2030. Essa convergência recrudesce a importância e consolida os cenários como ferramenta estratégica para o planejamento energético e para o alinhamento dos esforços das empresas com o desempenho futuro do nicho que estão inseridas.

Capítulo 21: Custos referentes às tecnologias de geração de energia[21]

21.1 Sumário executivo

Os custos referentes a geração de energia elétrica variam de acordo com a tecnologia empregada e são específicos para a localização do empreendimento. Os custos são influenciados pela disponibilidade dos recursos naturais (fonte de energia), pelo tamanho da planta, pela distância até a rede, pelos preços das commodities, entre outros fatores. Com projetos de P&D, aprendizagem tecnológica, produção em massa e economias de escala em níveis industriais e na própria planta, os custos tendem a cair no futuro.

O custo de uma tecnologia específica pode ser abordado sob diferentes aspectos, levando em consideração os vários componentes econômicos relacionados. Assim, torna-se importante a definição de alguns conceitos como: Custo de Investimento, Custos Fixos e Variáveis de Operação e Manutenção, Índice de Custo Benefício, Curva de Aprendizado, Custo Variável Unitário (CVU) e *Levelized Cost of Electricity* (LCOE).

Os recentes leilões de energia apresentam as tecnologias a serem exploradas nos próximos anos e também evidenciam uma tendência de aumento ou redução dos custos das mesmas. No caso das usinas eólicas, por exemplo, a expansão desta tecnologia deve permanecer nos próximos anos no Brasil, uma vez que o preço médio de venda dessa fonte no país tem diminuído: nos últimos anos, de 148 R$/MWh, para empreendimentos contratados nos leilões de energia, em 2009, para 130,86 R$/MWh no leilão A-3 de 2010 e 101,41 R$/MWh nos leilões realizados em 2011.

A comparação de custos entre as tecnologias a partir de diferentes documentos de referência torna-se importante uma vez que cada estudo possui uma forma específica de análise. Desta forma um estudo de custos pode ser singular, uma vez que este utiliza de diferentes conceitos, taxas de desconto, aspectos técnicos, localização, taxa de câmbio, entre outros fatores que influenciam diretamente no resultado de custos.

Sob esta ótica, este documento tem como objetivo, em um primeiro momento, apresentar valores gerais de custos das tecnologias de geração de energia e posteriormente uma análise conclusiva específica das fontes que tiveram informações adicionais pertinentes e em maior volume nas referências consultadas.

21.2 Introdução

De maneira geral, os custos relativos aos empreendimentos voltados para a geração de energia podem classificar-se em:

21.2.1 Custos de investimento

A. Custo de trabalhos preparatórios

- Elaboração do projeto;
- Licenciamento ambiental (EIA/RIMA);
- Reconhecimento da região;
- Prospecções geológicas;
- Trabalhos topográficos;
- Pesquisas geotécnicas.

B. Custos da construção

[21] Trabalho realizado pelo estagiário Lucas, em 2011.

- Custos de equipamentos e montagem dos equipamentos;
- Construção dos vários componentes da usina;
- Deslocamento de rodovias e ferrovias;
- Edifícios para a administração;
- Edifícios de operação e manutenção (garagens, almoxarifados, etc);
- Abastecimento de água e esgoto;
- Rede elétrica interna;
- Rede de telecomunicações.

C. Custos com desapropriações, indenizações e transferência da população

D. Despesas Gerais (despesas gerais compreendem todas as despesas de administração durante a construção da usina)

E. Subestação

F. Juros do Capital investido na construção

G. Imprevistos

21.2.2 Custos de geração (custos representativos da operação da usina)

A. Combustível;

B. Despesas gerais de administração;

C. Mão de obra;

D. Despesas de manutenção e reparos;

E. Despesas com materiais de operação (óleo, lubrificantes, graxa, materiais de limpeza, etc) [5];

F. Serviços diversos.

21.2.3 Encargos Setoriais

Os encargos são criados por leis aprovadas pelo Congresso Nacional para tornar viável a implantação das políticas de Governo para o setor elétrico. Seus valores constam de resoluções ou despachos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e são recolhidos dos consumidores pelas distribuidoras por meio da conta de energia. Atualmente existem dez encargos financeiros incidentes sobre o setor de energia elétrica. A tabela a seguir mostra quais são:

Tabela 21.1 – Encargos setoriais de energia elétrica [1]

Encargo	Para que serve	Como é calculado
Conta de Consumo de Combustíveis (CCC)	Custear o combustível usado por usinas termelétricas para gerar energia nos sistemas isolados, localizados na região Norte	Rateio dos custos de compra de combustível entre todas concessionárias ou autorizadas do país. O valor mensal da cota é proporcional ao mercado atendido por cada empresa
Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)	Dentre outras finalidades, serve para subsidiar as tarifas de energia dos consumidores de baixa renda e universalizar o atendimento por meio do Programa Luz Para Todos	O custo é rateado por todos os consumidores atendidos pelo Sistema Interligado Nacional (SIN). O valor das cotas é calculado pela ANEEL
Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE)	Custear o funcionamento da ANEEL	A TFSEE é paga por todos os consumidores de energia elétrica. Equivale a 0,5% do benefício econômico anual dos agentes. O impacto aproximado desse encargo nas contas de energia é de 0,28%
PROINFA	Incentivar a geração de energia a partir de fontes alternativas (eólicas e biomassa) e de PCHs	Rateio dos custos e da energia elétrica gerada por meio do programa, levando em consideração o Plano Anual elaborado pelas Centrais Elétricas Brasileiras S/A (ELETROBRAS)
Reserva Global de Reversão (RGR)	Gerar recursos para reversão das instalações utilizadas na geração e transporte de energia em favor das concessionária, além de financiar a expansão e melhoria do serviço de energia elétrica	Seu valor anual equivale a 2,5% dos investimentos efetuados pela concessionária em ativos vinculados à prestação do serviço de eletricidade, limitado a 3,0% de sua receita anual. É pago mensalmente pelas concessionárias de distribuição, geração e transmissão. A RGR é administrada pela ELETROBRAS.
Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos (CFURH)	Compensar financeiramente a União, estados e municípios pelo uso da água e de terras produtivas necessárias à instalação de usinas para geração de energia	O cálculo segue fórmulas específicas. Do total arrecadado, 45% são destinados aos municípios atingidos pelos reservatórios das usinas e 45% são distribuídos aos estados. Os 10% restantes são repassados à União (3% ao MMA, 3% ao MME e 4% para o FNDCT)
Encargos de Serviços do Sistema (ESS)	Aumentar a confiabilidade e a segurança da oferta de energia no país	O custo é apurado mensalmente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica e é pago por todos os consumidores aos agentes de geração
Operador Nacional do Sistema (ONS)	Financiar o funcionamento do Operador Nacional do Sistema Elétrico, que coordena e controla a operação das geradoras e transmissoras de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN)	O valor é definido anualmente pelo ONS e aprovado pela ANEEL.
Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (P&D/EE)	Estimular pesquisas científicas e tecnológicas relacionadas à energia elétrica e ao uso sustentável dos recursos necessários para gerá-la	Distribuidoras devem aplicar 0,5% da receita operacional líquida, tanto para pesquisa e desenvolvimento como para programas de eficiência energética na oferta e no uso final da energia. Outros agentes devem investir 1% em P&D
Encargo de Energia de Reserva (EER)	Cobrir custos decorrentes da contratação de energia de reserva, incluindo os custos administrativo, financeiros e tributários	Rateio entre os usuários finais de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN), incluindo os consumidores livres e os autoprodutores apenas na parcela da energia decorrente da interligação ao SIN. É definido mensalmente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, segundo fórmula prevista em resolução da ANEEL

Basicamente os principais encargos setoriais contemplados em empreendimentos de geração de energia elétrica são a TUST, referente ao uso do sistema de transmissão, a taxa de fiscalização, instituída pela Lei nº 9.427/96 e a obrigação de aplicação de programas de pesquisas e desenvolvimento.

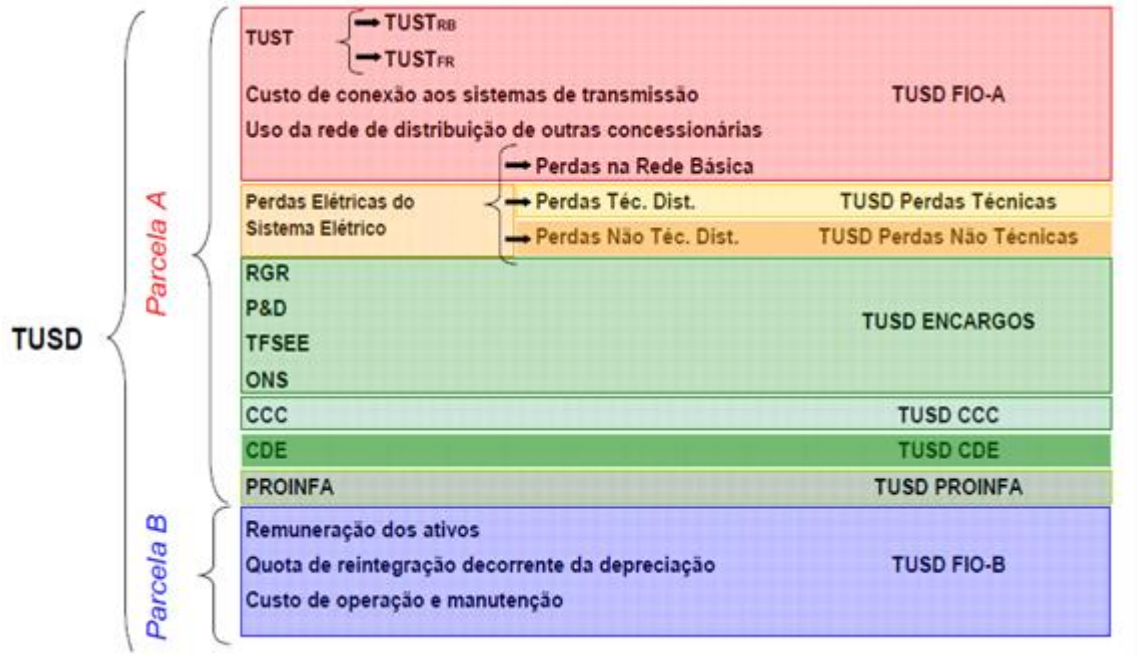
21.2.4 TUSD

As tarifas de uso do sistema de distribuição - TUSD - possuem a função precípua de recuperar a receita definida pela ANEEL, e devem fornecer sinal econômico adequado para utilização racional dos sistemas de distribuição.

A TUSD é aplicada a consumidores cativos da concessionária, a consumidores livres, a outras distribuidoras que acessam os sistemas de distribuição da concessionária e a geradores conectados a concessionária.

A receita a ser recuperada pela concessionária, definida pela ANEEL se dá por meio dos itens listados abaixo que compõem a estrutura da TUSD.

Figura 21.1 – Parcelas da TUSD (FONTE: ABRADEE [2]



A Parcela A da TUSD corresponde aos custos não gerenciáveis. A Parcela B corresponde à componente da TUSD que agrupa os valores relativos à remuneração dos ativos, a quota de reintegração decorrente da depreciação e ao custo de operação e manutenção, que são valores que apresentam condições de gerenciamento, daí a denominação de custos gerenciáveis.

A TUSD g é aplicada aos geradores conectados em redes de distribuição e é atualmente formada por três componentes tarifárias como segue:

I. TUSDg – D/DIT: parcela relativa à receita da Rede Unificada - RU;

II. TUSDg – T: parcela relativa ao fluxo de exportação para a rede básica; e

III. TUSDg – ONS: parcela relativa ao custeio do ONS.

21.2.5 TUST

As tarifas de uso do sistema de transmissão – TUST - são calculadas com a metodologia nodal, que dá um sinal econômico locacional, conforme preconizado em Lei. As tarifas são reajustadas anualmente na mesma data em que ocorrem os reajustes das Receitas Anuais Permitidas - RAP das concessionárias de transmissão.

A parcela principal da TUST, a TUST-RB refere-se às instalações de transmissão integrantes da Rede Básica, com nível de tensão igual ou superior a 230 kV, utilizadas para promover a otimização dos recursos elétricos e energéticos do sistema e, portanto, gera tarifas aplicáveis a todos os usuários.

A Rede Básica é composta também pelas unidades de transformação necessárias para rebaixar as altas e extra-altas tensões de transmissão – iguais ou superiores a 230 kV – para as tensões de distribuição. O serviço de transmissão prestado por essas unidades transformadoras é pago por distribuidoras que dele se beneficiam, mediante uma parcela específica da TUST, denominada TUST-FR, referente ao uso de instalações de fronteira com a Rede Básica.

A Tabela 21.2 apresenta as os valores para a TUST-RB e TUST-FR de alguns pontos de conexão da CEMIG.

Tabela 21.2 – Tarifas do uso das instalações de transmissão componentes da rede básica do SIN e das instalações de transmissão de uso compartilhado. (FONTE: ANEEL [3])

Concessionária	**Nome da Barra**	**Ponto de Conexão**	**Tarifa Rede Básica (R$/kW.mês)**		**Tarifa de Fronteira (R$/kW.mês)**	
			Ponta	**Fora Ponta**	**Ponta**	**Fora Ponta**
CEMIG	ARACUAI--138	ARAÇUAÍ 2---138	5,238	1,052	1,279	0,246
	BARBACEN-138	BARBACENA 2---138	5,462	1,107	0,852	0,145
	BARREIRO-138	BARREIRO---138	5,470	1,101	0,920	0,173
	EMBORCAC-138	EMBORCAÇÃO---138	4,108	0,798	0,503	0,100
	IPATINGT-138	IPATINGA 1---138	5,801	1,164	0,67	0,133
	JAGUARA--138	JAGUARA-SE---138	4,278	0,832	1,545	0,299
	NEVES----138	NEVES 1---138	5,174	1,027	0,641	0,131
	TAQUARIL-138	TAQUARIL---138	5,310	1,064	0,754	0,145
	TMARIAS--138	TRÊS MARIAS---138	3,823	0,760	1,601	0,295

21.2.6 Impostos e Tributos

Incidem ainda na conta de energia o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), obrigação estadual cuja alíquota é definida em cada unidade federativa, as alíquotas do Programa de Integração Social (PIS) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), ambos federais, e a Contribuição para o custeio da Iluminação Pública (COSIP), taxa cobrada pela administração municipal.

Os impostos e tributos podem ser classificados em dois grupos: incidentes sobre a receita, que no caso são: PIS, CONFINS E CPMF, e os que incidem sobre os resultados, que são: Imposto sobre a Renda (IR) e a Contribuição Social (CSLL).

Além do ICMS incide sobre a venda de energia elétrica as contribuições sociais do PIS/PASEP, da COFINS e da COSIP sendo esta última tributo de natureza municipal. [4]

21.2.7 Outros Custos

Dois custos associados à geração e comercialização de energia não são considerados encargos ao consumidor. O UBP (Uso de Bem Público), pago pela geradora, é um custo de geração embutido no valor da energia que vai a leilão e não é computado no processo de atualização tarifária. O custeio da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) também não enquadrado como encargo, pois o dinheiro é arrecadado entre os agentes associados, com expressa vedação de repasse às tarifas.

21.3 Conceitos

Muitos documentos que têm por finalidade apresentar o investimento necessário para a construção de diversos empreendimentos de geração de energia elétrica abordam dois termos diferentes neste contexto, são eles: Custo Total da Planta e Total de Capital Necessário.

21.3.1 Custo de Investimento

O custo de investimento (CI) inclui os custos que incidem sobre a instalação de uma planta. O custo de investimento é geralmente indicado como custo total ou como custo por unidade de capacidade (R$/kW). Esta última unidade se torna necessária, quando se comparam custos de plantas de diferentes capacidades.

O CI é comumente abordado na literatura sob dois aspectos, são eles:

- Custo Total da Planta (*Total Plant Costs* – TPC);
- Requerimento Total de Capital (*Total Capital Requirement* – TCR).

O Custo Total da Planta (*Total Plant Costs – TPC*), também chamado de *Overnight Construction Cost*, é desenvolvido teoricamente, como se a construção da usina ocorresse em um ponto único no período de tempo, ou seja, é o custo de todas as partes e todo o trabalho necessário para a construção da planta, sem incluir os custos gerados pelo tempo da construção (por exemplo, pagamento de taxa de juros), excluindo os custos relacionados a financiamento e inflação. No TPC estão inclusos custos de instalação da planta: equipamentos do processo, instalações de suporte, mão-de-obra direta e indireta, design, construção e gerência do projeto.

O Requerimento Total de Capital (*Total Capital Requirement – TCR*) para a construção do empreendimento descreve os custos de um projeto real, isto é, inclui todos os custos que incorrem até a operação da planta. Nele estão inclusos o TPC, os custos do proprietário (terreno, infraestrutura, administração, licenciamento, etc), o valor do dinheiro no tempo e os custos de início da operação. Este último diz respeito aos custos envolvidos durante a fase na qual a planta inicia a operação, mas ainda não atinge o estado de operação estável. Esses custos incluem custos fixos e variáveis de operação e manutenção e um inventário inicial de consumíveis.

A diferença entre TPC e o TCR é amplificada quando a usina demanda um período prolongado de construção – usinas nucleares, por exemplo – por outro lado, as tecnologias de geração fotovoltaica e turbinas de ciclo combinado simples, requerem um menor tempo. Alguns estudos fornecem apenas TPC, o que compromete o entendimento do total de capital necessário no investimento.

Muitas instituições utilizam diferentes parâmetros para calcular valores de TPC e TCR, logo os custos apresentados nem sempre convergem para os mesmos resultados. Fatores de entrada como a taxa de retorno, o tempo de construção e ano base da moeda, precisam ser predeterminados e têm forte influência sobre os resultados. Os termos a respeito de custos utilizados na literatura também se diferenciam, o que pode gerar alguns equívocos. Portanto, somente em poucos casos, em que se detalha claramente a metodologia, a comparação entre os custos das tecnologias pode ser garantida.

É importante ressaltar que pelo fato do custo de investimento não incluir os custos que incorrem durante a vida econômica da planta (operação e manutenção, combustível, impostos), ele não fornece informações suficientes a respeito da viabilidade econômica de uma planta, mas indica somente o necessário esforço financeiro inicial.

21.3.2 Custos Fixos e Variáveis de Operação e Manutenção

Custos de O&M para empreendimentos de geração são normalmente classificados em custos fixos e variáveis.

Os custos de O&M fixos independem do total de eletricidade produzida e são comumente expressos em reais por quilowatt por ano (R$/kW.ano), nele estão inclusos: custos com mão de obra, custos com equipamentos e despesas em geral, mas geralmente excluem gastos com reformas ou *retrofits* na usina.

Já os custos de O&M variáveis são aqueles diretamente ligados à produção de eletricidade do empreendimento, levando em consideração os custos com os consumíveis, podendo ou não incluir custos com combustíveis, dependendo do tipo de tecnologia de geração. Além disso, pode-se incluir uma margem de gastos com manutenções não programadas e ações corretivas. Custos de O&M variáveis são geralmente expressos em reais por quilowatt hora (R$/kWh).

21.3.3 Índice de Custo Benefício (ICB)

Dentre os métodos tradicionais da Engenharia Econômica para priorização de projetos de investimento, destaca-se o método da Razão Incremental Custo/Benefício, também conhecido como método do Índice de Custo Benefício (ICB). Uma vez calculados os valores dos índices ICB para cada projeto, o critério de decisão consiste em se investir nos projetos por ordem crescente, ou seja, do menor para o maior valor de ICB.

Na prática, o benefício energético de um novo empreendimento de geração corresponde legalmente à sua Garantia Física, que é calculada à época do seu leilão.

O custo global de um empreendimento de geração compreende o custo de investimento, incluindo os custos socioambientais, os juros durante a construção e a parcela fixa dos custos de operação e manutenção (O&M), somado ao valor esperado do custo variável de O&M, e ao valor esperado do custo econômico de curto prazo.

Assim, o Índice de Custo Benefício (R$/MWh) de cada empreendimento de geração é definido como a razão entre o seu custo total e o seu beneficio energético, podendo ser calculado em base mensal ou anual, do seguinte modo:

$$ICB = \frac{Custos\,Fixos + E\,(Custo\,de\,Operação) + E(Custo\,Econ.\,Curto\,prazo)}{Garantia\,Física}$$

O ICB é, portanto, uma estimativa do quanto irá custar a energia a ser fornecida por um empreendimento (ou parte dele) aos seus compradores (agente distribuidor), durante o prazo de vigência do contrato por disponibilidade de compra e venda de energia. [5]

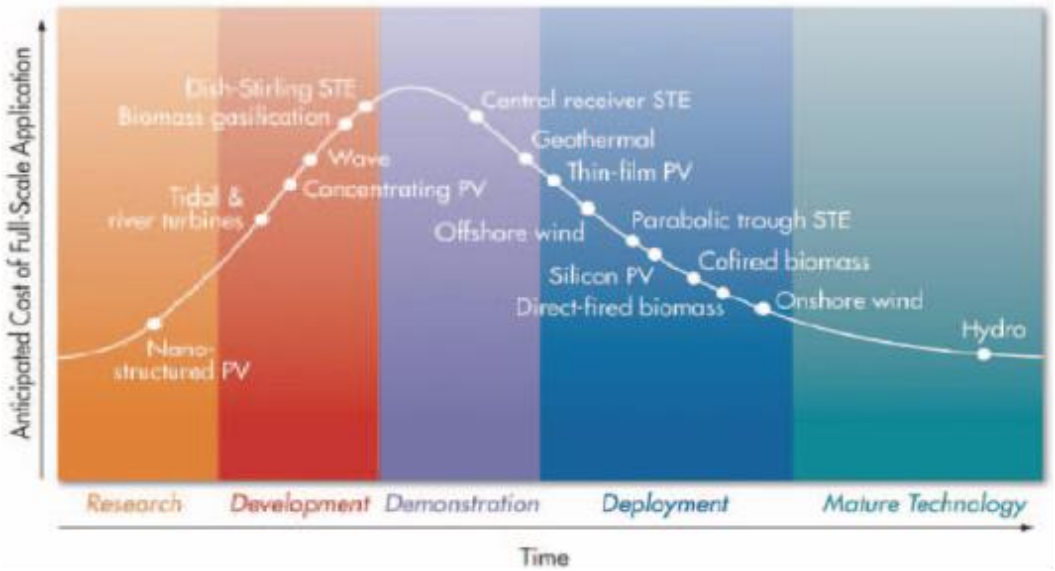
21.3.4 Curva de Aprendizado

Existem muitos fatores que podem causar a redução nos custos de uma determinada tecnologia: aprendizado ao se realizar uma atividade, melhoria da metodologia, aumento de eficiência, inovações causadas por pesquisas, introdução de novos processos de produção, difusão do conhecimento, padronização da produção possibilitando a produção em larga escala, etc.

A curva de aprendizado reflete a possibilidade da redução dos custos da tecnologia em função do tempo ou em função do crescimento acumulado da capacidade instalada da mesma. Desse modo, possibilita uma melhor análise econômica da variação dos custos ao longo dos anos, possibilitando inferir prováveis valores futuros.

O gráfico a seguir exemplifica a redução dos custos das tecnologias de geração de energia ao longo do tempo. Percebe-se que em um estágio inicial de concepção da tecnologia, os custos tendem a serem subestimados. Assim que é alcançado o ponto de desenvolvimento e demonstração, os custos tendem a aumentar com a compreensão de novas avaliações de engenharia e a real implementação da tecnologia no mercado. Após a fase de comercialização, há uma tendência de redução dos custos devido a uma combinação de fatores e eventualidades, juntamente com o nível de maturidade que a tecnologia alcança. Diferentes tecnologias podem ser alocadas em diferentes regiões da curva.

Gráfico 21.1 – Curva de aprendizado para fontes renováveis de geração de energia – (EPRI - 2010)



21.3.5 *Levelized Cost of Electricity (*LCOE)

Outra métrica utilizada para calcular os custos de produção é a *levelized costs of electricity* (LCOE). Esta serve como mais uma ferramenta para comparação entre custos unitários específicos para diferentes tecnologias. A LCOE é obtida dividindo o valor presente dos custos totais ocorridos durante a vida útil da usina pela energia produzida durante o mesmo período. Pode ser comparada à tarifa de equilíbrio e a unidade utilizada para expressá-la é US$/MWh.

21.3.6 Custo Variável Unitário de Geração – CVU

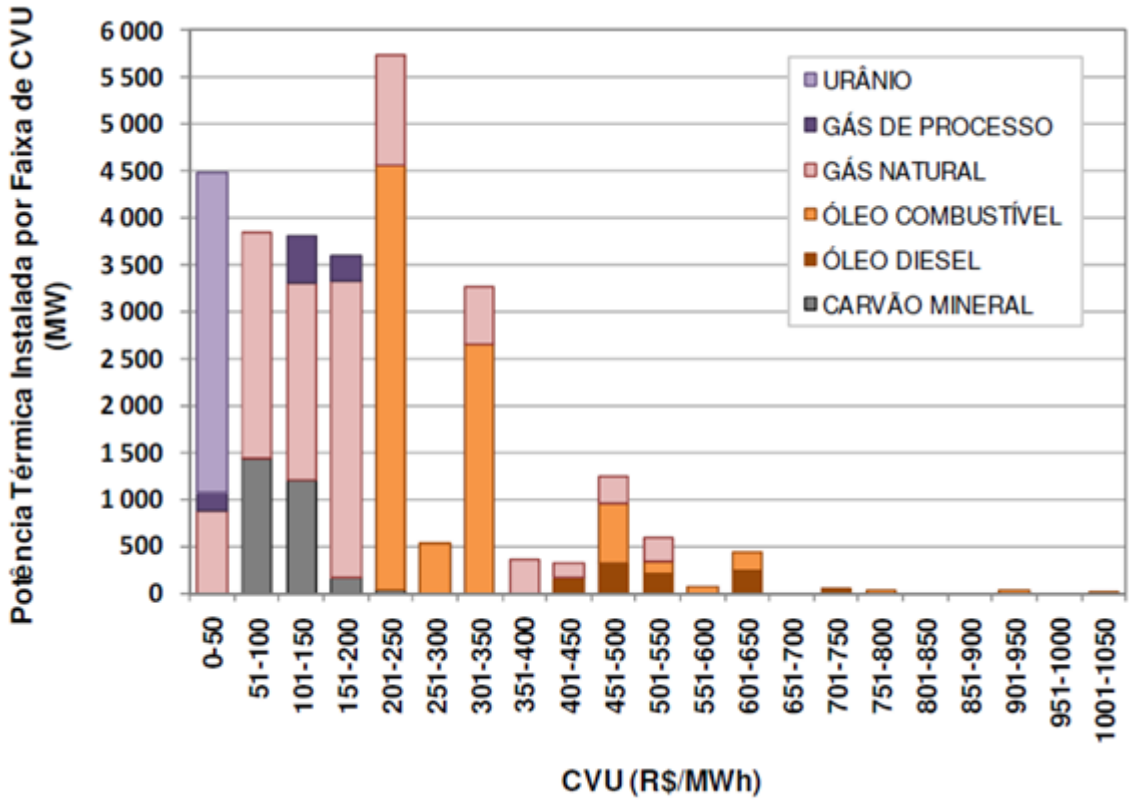
O Custo Variável Unitário - CVU de geração engloba todos os custos operacionais do empreendimento, exceto aqueles considerados na formação da Receita Fixa, e pode ser decomposto nas seguintes parcelas:

I - Custo do Combustível - C_{comb} destinado à geração de energia flexível, em R$/MWh;

II - Demais Custos Variáveis - $C_{O\&M}$, incorridos na geração de energia flexível, em R$/MWh.

O Gráfico 21.2 ilustra a relação entre o CVU da usina térmica, associado ao combustível consumido, e o potencial instalado no SIN.

Gráfico 21.2 – Distribuição do parque térmico por faixa de CVU e por fonte de geração (MW) (FONTE: PDE 2020)



Observa-se que as usinas com CVU acima de 400 R$/MWh são predominantemente movidas a óleo combustível e diesel, que, além de caras, são bastante poluentes. O combustível com maior participação na matriz energética é o gás natural, ao qual corresponde um custo de operação das usinas que o utilizam, em sua maioria, na faixa de 50 a 200 R$/MWh. As usinas nucleares, por possuírem baixos custos, são responsáveis pela alta capacidade instalada no sistema Sudeste/Centro-Oeste na primeira faixa de CVU (0 a 50 R$/MWh). [6]

Usinas térmicas que utilizam como fonte o mesmo tipo de combustível podem ter um CVU bastante variável, o que irá depender principalmente da potência instalada. A Tabela 21.3 exemplifica a variação do CVU para diferentes usinas térmicas no Brasil.

Tabela 21.3 – Custo variável das usinas térmicas (R$/MWh) (ONS [7])

Usina Térmica	Custo Variável (R$/MWh)
NUCLEAR	
Angra 2	18,77
Angra 1	24,27
CARVÃO	
Candiota III	53,82
P. Médici A e B	115,90
Charqueadas	164,18
S. Jerônimo	248,31
Figueira	341,89
GÁS	
M. Covas	6,27
Fortaleza	86,52
Uruguaiana	141,18
Euzébio Rocha – L	207,72
Sepé Tiaraju	385,22
Termoceará – TC	492,29
ÓLEO	
S. Cruz	310,41
Piratininga 1 e 2	470,34
R. Silveira	523,35
Igarapé	645,30
Petrolina	778,03
Carioba	937,00
DIESEL	
Altos	535,15
M. Covas	634,03
S. Cruz Diesel	720,29
Potiguar	826,87
Termomanaus	916,73
Brasília	1047,38
VAPOR	
Piratininga 3 e 4	182,56
RESIDUOS INDUSTRIAIS	
Atlântico	119,95
BIOMASSA	
Cocal	149,87
PIE-RP	162,91
Madeira	192,49

21.4 Leilões De Energia

As concessionárias, as permissionárias e as autorizadas de serviço público de Distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN), por meio de licitação na modalidade de leilões, devem garantir o atendimento à totalidade de seu mercado no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). À ANEEL cabe a regulação das licitações para contratação regulada de energia elétrica e a realização do leilão diretamente ou por intermédio da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). O critério de menor tarifa é utilizado para definir os vencedores de um leilão, ou seja, os vencedores do leilão serão aqueles que ofertarem energia elétrica pelo menor preço por Megawatt hora para atendimento da demanda prevista pelas Distribuidoras [8]. Deste modo, todo o processo competitivo do leilão é transferido para o lado da oferta.

Os leilões de energia ocorrem com periodicidade anual e são subdivididos em duas categorias principais: os leilões de energia existente e os leilões de energia nova. Os leilões de energia existente têm por objetivo a venda de energia de empreendimentos existentes cujo investimento inicial em sua construção já tenha sido plenamente amortizado. Estes leilões são usualmente classificados como leilões do tipo "A-1". Isto é, são leilões organizados no ano anterior ao ano de entrega física de energia ("A"), e esta, por sua vez, deverá ser inicialmente fornecida sempre a partir do primeiro dia do ano contratado. O prazo destes contratos de energia existente é, usualmente, estabelecido em oito anos de duração.

Os leilões de energia nova, por sua vez, se destinam ao atendimento das necessidades de mercado das distribuidoras mediante a venda de energia elétrica proveniente de empreendimentos que, em geral, ainda não iniciaram sua etapa de construção. Estes leilões são organizados sob a formatação do tipo "A-5" e "A-3", também ocorrem com periodicidade anual, e os contratos têm vigência de 15 anos para a energia advinda de empreendimentos termelétricos e de 30 anos para os empreendimentos hidrelétricos. O objetivo de tais leilões é propiciar a possibilidade, por parte das distribuidoras, de contratação antecipada de energia para o atendimento pleno de sua demanda estimada três a cinco anos à frente.

Para os geradores, os leilões de energia nova representam uma oportunidade de venda garantida de energia – assegurada pelos contratos futuros de longo prazo – antes mesmo que o empreendimento tenha saído do papel. Isto implica em uma redução dos riscos e incertezas associadas ao projeto e, contribui, consequentemente, para a redução dos custos de geração de energia elétrica, uma vez que os investidores exigirão uma taxa interna de retorno proporcionalmente mais baixa para a construção do projeto. É exatamente por este motivo que os leilões de energia nova são organizados com bastante antecedência. Como mencionado, os leilões seguem a formatação "A-5" e "A-3", ou seja, são realizados cinco ou três anos antes do primeiro ano de entrega física de energia. Essa escolha de formatação não se dá por acaso. Estes são os prazos médios de construção de usinas hidrelétricas de grande porte (5 anos) e de usinas termelétricas (3 anos) [9].

21.4.1 Resultados de Leilões 2010 e 2011

O Leilão de Energia A-3 de 2011, realizado no dia 17 de agosto, resultou na comercialização de 2.744,6 megawatts (MW) de nova capacidade ao sistema elétrico brasileiro, que será gerada pelas 51 usinas contratadas – a serem viabilizadas nos próximos três anos. A licitação obteve um preço médio de 102,07 R$/MWh. É importante ressaltar o baixo preço médio de venda das fontes eólica, biomassa e gás natural. (FONTE: EPE)

Tabela 21.4 – Leilão de Energia A-3 / 2011 – resultado final (EPE)

Fonte	Projetos contratados	Potência instalada (MW)	Garantia Física (MWmédios)	Preço médio (R$/MWh)
Eólica	44	1.067,70	484,2	99,58
Biomassa	4	197,8	91,7	102,41
Hídrica	1	450	209,3	102
Gás natural	2	1.029,10	900,9	103,26
TOTAL	**51**	**2.744,60**	**1.686,10**	**102,07**

O Leilão de Energia de Reserva de 2011, realizado no dia 18 de agosto, contratou 1.218,1 megawatts (MW) em potência instalada de projetos de parques eólicos e de termelétricas à biomassa (bagaço de cana-de-açúcar e resí-

duo de madeira). Um total de 41 empreendimentos negociou a venda da energia a um preço médio final de R$ 99,61/MWh. (EPE)

Tabela 21.5 – Leilão de Energia de Reserva / 2011 – resultado final (EPE)

Fonte	Projetos contratados	Potência instalada (MW)	Garantia Física (MWmédios)	Preço médio (R$/MWh)
Eólica	34	861,1	428,8	99,54
Biomassa	7	357	169,5	100,4
TOTAL	**41**	**1.218,10**	**589,3**	**99,61**

Já o Leilão de Energia A-5 de 2011, realizado no dia 20 de dezembro, contratou 1.211,5 megawatts (MW) em potência instalada. O preço médio no final do leilão foi de R$ 102,18/MWh. A fonte eólica foi o grande destaque, com 39 projetos negociados somando 976,5 MW a um preço médio de R$ 105,12/MWh. (EPE)

Tabela 21.6 – Leilão de Energia A-5 / 2011 – resultado final (EPE)

Fonte	Projetos contratados	Potência instalada (MW)	Garantia Física (MWmédios)	Preço médio (R$/MWh)
Eólica	39	976,5	478,5	105,12
Biomassa	2	100	43,1	103,06
Hídrica	São Roque	135	90,9	91,2
TOTAL	**42**	**1.211,50**	**612,5**	**102,18**

Com relação aos leilões realizados no ano de 2010, destaca-se o baixo preço médio do 11º Leilão de Energia Nova (A-5). Neste evento foi contratada uma potência instalada de 2.120 megawatts (MW) a partir de duas usinas hidrelétricas, Teles Pires e Santo Antônio do Jari, a um preço médio de R$ 67,31/MWh. O preço final da usina de Teles Pires foi de R$ 58,35/MWh. Na época da realização do leilão, o presidente da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, Mauricio Tolmasquim, afirmou que este havia sido o valor mais barato entre todos os empreendimentos hidrelétricos já negociados nos leilões de energia nova [10].

As principais características da usina Teles Pires, que justifica seu baixo custo, são: baixo nível de compensações ambientais, o fato de que a futura área de inundação da usina é praticamente inabitada e o seu novo projeto de engenharia, este que proporcionou uma contenção de despesas baseado na proposta de uma menor quantidade de serviços com relação ao eixo original, entre outros benefícios.

A tabela abaixo apresenta o preço médio (R$/MWh) por tipo de fonte dos leilões do ano de 2010.

Tabela 21.7 – Leilões de energia elétrica realizados no ano de 2010 (Autoria própria baseado em dados da EPE e CCEE)

Tipo de Leilão	Fonte	Potência Instalada (MW)	Garantia Física (Mwmédios)	Início do Suprimento	Preço Médio (R$/MWh)
Leilão Sistemas Isolados	Biomassa (Cavaco/Resíduo de Madeira)	-	8,1	2012 e 2013	148,85
Leilão UHE Belo Monte	Hídrica	11.233	4.571	2015	77,97
Leilão de Energia A-5	Hídrica	808,9	327	2015	99,48
Leilão de Reserva	Eólica	1.206,60	445,1	2013	130,86
	Biomassa (Bagaço de Cana)			2011 ou 2012	144,20
	PCH			2013	141,93
Leilão de Fontes Alternativas A-3	Eólica	1685,6	714,3	2013	130,86
	Biomassa (Bagaço de Cana)				144,20
	PCH				141,93
Leilão de Energia A-1	-	-	98	2011	105,04
Leilão de Energia A-5	Hídrica	2.120	968	2015	67,31

21.5 Comparativo de Custos Entre as Tecnologias

Os dados da tabela 21.8 a seguir foram retirados do documento *Updated Capital Cost Estimates for Electricity Generation Plants* elaborado pela *SAIC energy* a serviço da *Energy Information Administration* (EIA) publicado em novembro de 2010. O documento tem por objetivo a atualização dos custos referentes às usinas de geração de energia elétrica nos Estados Unidos. Os dados apresentados podem ser tomados como referência para custos de investimento e custos fixos e variáveis de O&M para diferentes tipos de tecnologias.

Tabela 21.8 – Custos das tecnologias de geração de energia elétrica (EIA11)

Tecnologia	Combustível	Capacidade Nominal (kW)	Custo de Capital ($/kW) (1)	Custo de O&M Fixo ($/kW-ano) (2)	Custo Variável de O&M ($/MWh) (3)
PCC Avançado	Carvão	650.000	3.167	35,97	4,25
PCC Avançado com CCS	Carvão	650.000	5.099	76,62	9,05
IGCC	Carvão	600.000	3.565	59,23	6,87
IGCC com CCS	Carvão	520.000	5.348	69,30	8,04
NGCC (Ciclo Combinado)	Gás Natural	540.000	978	14,39	3,43
NGCC avançado com CCS	Gás Natural	340.000	2.060	30,25	6
Turbina a gás convencional	Gás Natural	85.000	974	6,98	14,70
Nuclear Avançado	Urânio	2.236.000	5.339	88,75	2,04
Biomassa Ciclo Combinado	Biomassa	20.000	7.894	338,79	16,64
Células a Combustível	Gás	10.000	6.835	350	0
Hidroelétrica	Água	500.000	3.076	13,44	0
Eólica Onshore	Vento	100.000	2.438	28,07	0
Eólica Offshore	Vento	400.000	5.975	53,33	0
Solar Térmica	Solar	100.000	4.692	64	0
Fotovoltaica	Solar	7.000	6.050	26,04	0
Fotovoltaica	Solar	150.000	4.755	16,70	0

(1) Custo de Capital exclui custos de relacionados com financiamento
(2) Despesas com O&M Fixo exclui custos do proprietário
(3) Despesas com O&M Variável inclui manutenção

21.5.1 *Energy Technology Persepectives* 2010 - IEA

A Tabela 21.9 a seguir apresenta custos de investimento e de O&M para fontes renováveis de energia para o ano de 2010 e uma projeção para o ano de 2050. As tecnologias de geração a partir da biomassa variam de acordo com o tamanho da planta e com a matéria prima utilizada e neste caso, é a única fonte dependente do custo do combustível. Os custos da tecnologia geotérmica são dependentes dos custos de exploração, de sondagens bem feitas e dos recursos energéticos locais aplicados à tecnologia.Os custos relacionados às sondagens e exploração podem representar cerca de 50% dos custos totais dos projetos. Com relação à tecnologia solar PV, os custos dos módulos fotovoltaicos representam, aproximadamente, 60% dos custos totais com equipamentos, o restante é referente aos inversores e cabos.

Tabela 21.9 – Custos para fontes renováveis de energia (IEA – *Energy Technology Perspectives* 2010)

	Investment cost USD/kW		O&M cost USD/kW/yr	
	2010	2050	2010	2050
Biomass steam turbine	2 500	1 950	111	90
Geothermal	2 400-5 500	2 150-3 600	220	136
Large hydro	2 000	2 000	40	40
Small hydro	3 000	3 000	60	60
Solar PV	3 500-5 600	1 000-1 600	50	13
Solar CSP	4 500-7 000	1 950-3 000	30	15
Ocean	3 000-5 000	2 000-2 450	120	66
Wind onshore	1 450-2 200	1 200-1 600	51	39
Wind offshore	3 000-3 700	2 100-2 600	96	68

Os custos de investimento para a tecnologia de concentração solar (CSP) diferem-se consideravelmente entre plantas com ou sem sistema de armazenamento. Já com relação ao custo da energia produzida, as usinas CSP são, de modo geral, comparáveis. Isso pelo fato das plantas com sistema de armazenamento possuírem um fator de capacidade mais elevado.

Para a geração eólica *onshore*, o custo da turbina representa cerca de 75% do custo total, o restante é referente aos custos com infraestrutura, conexão com a rede e fundações. No caso da geração eólica *offshore*, os custos das turbinas levam em consideração fatores adicionais como a profundidade da água e a distância até a costa. Em termos do custo da energia gerada, os custos adicionais das turbinas *offshore* são compensados parcialmente pela elevada produção de eletricidade, devido a maior velocidade do vento.

21.5.2 *Projected Costs of Generating*

Câmbio de referência dos custos - US$ média 2008 (1,00 US$ = 1,83 R$).

O documento *Projected Costs of Generating Electricity* elaborado pela Agência Internacional de Energia (IEA) em conjunto com Agência de Energia Nuclear (NEA), levanta alguns dados a respeito dos custos para geração de energia elétrica no Brasil e em outros 20 países.

No caso do Brasil, foram informados os dados de 7 diferentes usinas, sendo 1 usina nuclear, 3 hidrelétricas, 1 termelétrica a carvão pulverizado (PCC), 1 termelétrica a gás com ciclo combinado e 1 termelétrica a biomassa (*woodchip*).

As usinas nucleares possuem a vantagem de ter uma geração com custos estáveis ao longo do tempo, porém existe um alto valor de capital em risco. Para a usina nuclear em questão no estudo, localizada no Brasil, o período de construção é de 8 anos. O custo *overnight* é de R$ 291 milhões por ano (2008) e inclui um custo de contingência igual a 5% do custo de construção. Reformas e melhorias representam R$ 36,3 milhões por ano, tendo

início no 11º ano do ciclo de operação da usina nuclear. O custo de descomissionamento (desativação da usina) é de R$ 16.163.000/ano.

No caso da usina a gás, considerou-se 8% do custo *overnight* da planta como sendo custo de contingencia. O preço do gás natural é de14,88 R$/MMBTU (de acordo com *Energy Outlook* 2008-2017, publicado pelo Ministério de Minas e Energia).

Para a biomassa considerou-se 20 anos para a vida útil da usina e um fator de capacidade padrão de 85%. O preço para o combustível utilizado como biomassa, *woodchip* (cavaco de madeira), é de R$ 21,16/tonelada.

Tabela 21.10 – Especificações técnicas e custos de tecnologias de geração de energia elétrica no Brasil. (FONTE: IEA/NEA)

Tecnologia	**Capacidade nominal (MWe)**	**Fator de capacidade (%)**	**Custos *overnight* (US$/kWe)**	**Custos de investimento (US$/kWe)**		**Custos do combustível (US$/MWh)**	**Custos de O&M (US$/MWh)**	**LCOE (US$/MWh)**	
				5%	**10%**			**5%**	**10%**
Nuclear PWR	1.405	-	3.798	4.703	5.813	11,641	15,54	65,29	105,3
Termica a carvão pulverizado (PCC)	446	-	1.300	1.400	1.504	15,39	37,89/43,93[2]	63,98	79,02
Térmica a gás com ciclo combinado (CCGT)	210	-	1.419	1.636	1.180	57.79	5,40	83,85	94,84
Hidrelétrica	800	55	1.356	1.471	1.595	0,00	2,31/2,42	18,70	34,30
	300	55	1.199	1.361	1.538	0,00	2,31/2,42	17,41	33,13
PCH	15	55	2.529	2.529	2.651	0,00	5,20/5,80	38,53	61,46
Biomassa (woodchip)	10	85	3.077	3.077	3.456	19,13	26,25/31,49	77,73	

*Custo do ciclo do combustível nuclear

Térmicas a carvão são bastante competitivas se levado em consideração o baixo preço do combustível. Isto é válido em particular para a região oeste dos Estados Unidos, Austrália, África do Sul, Índia e China, regiões nas quais além do carvão ter um baixo preço, as usinas térmicas estão instaladas próximas às minas. Por outro lado, existem os altos custos ambientais, determinantes para a viabilização deste tipo de empreendimento.

A tabela a seguir apresenta valores médios de custos e especificações utilizadas no estudo feito pela Agência Internacional de Energia e pela Agência de Energia Nuclear. Os dados são referentes às tecnologias de geração nuclear, termelétrica a gás com ciclo combinado, eólica *onshore* e solar PV. Os valores da LCOE foram calculados para taxas de desconto de 5% e 10%.

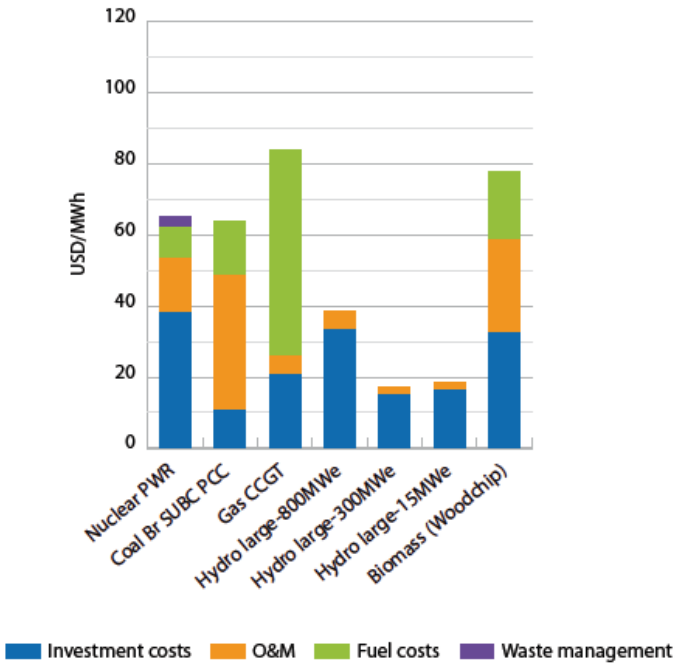
Tabela 21.11 – Média de custos e especificações de tecnologias de geração. (IEA/NEA)

Especificações		**Nuclear**	**Térmica a gás com ciclo combinado**	**Eólica *Onshore***	**Solar PV**
Capacidade Nominal (MW)		1.400	480	45	1
Custo Overnight (US$/kW)		4.101	1.018	2.348,64	6005,79
O&M (US$/MWh)		14,74	4,48	21,92	29,95
Custo do Combustível (US$/MWh)		9,33	61,12	0	0
Eficiência (%)		33	57	-	-
Fator de Capacidade (%)		85	85	26	13
Tempo de Construção (anos)		7	2	1	1
Vida Útil (anos)		60	30	25	25
LCOE (US$/MWh)	**5%**	58,53	85,77	96,74	410,81
	10%	98,75	92,11	137,16	616,55

* Câmbio de referência dos custos - US$ média 2008 (1,00 US$ = 1,83 R$)

O gráfico 21.3 mostra a LCOE (equivalente à tarifa de equilíbrio) e seus componentes de custo, para diferentes tecnologias, para uma taxa de desconto de 5%.

Gráfico 21.3 – *Levelized cost of electricity* no Brasil (IEA/NEA)



Observa-se que as hidrelétricas possuem grandes vantagens em termos de O&M e um custo do combustível nulo. Para as térmicas a gás, o custo com o combustível é o componente mais relevante na LCOE, fazendo com que esta tecnologia seja a mais cara. As térmicas a carvão tem um baixo custo com combustível, por outro lado os custos com O&M são os maiores. A nuclear exige um alto investimento, parcela esta representativa no custo da energia gerada. A biomassa é a tecnologia que tem seus custos melhor distribuídos.

21.5.3 Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030

O documento Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030 foi elaborado por uma equipe conjunta do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ (PPE) e da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e tem por objetivo realizar análises prospectivas da oferta e demanda das diversas fontes de energia no Estado de Minas Gerais até o ano de 2030, gerando recomendações para planos e programas governamentais.

Neste documento são apresentados alguns dados com características técnico-econômicas de diversas tecnologias de geração de energia elétrica.

Em um primeiro momento são apresentadas informações referentes a três alternativas tecnológicas para Cogeração a Bagaço de Cana. Os valores estão na tabela a seguir:

Tabela 21.12 – Características Técnico-Econômicas das Alternativas de Cogeração a Bagaço de Cana

Tecnologia	**Parâmetro do Vapor Gerado**	**Excedente Elétrico[(1)]**	**Investimento (US$/kW)**	**O&M (US$/MWh)**	**Operação**	**Fator de Capacidade**
(A) Contra-Pressão 22bar	2,2 Mpa, 300°C	10 kWh/tc	325	10	Safra	60%
(B) Contra-Pressão 42bar	4,2 Mpa, 400° C	20kWh/tc	500	10	Safra	60%
(C) Cogeração em Cascata	6,0 Mpa, 450°C	30 kWh/tc	750	10	Safra	60%
(D) CEST[(3)]	8,0 Mpa, 480°C	126 kWh/tc	1250	15[(2)]	Ano Todo	85%

(1): Descontado a demanda por vapor e o autoconsumo de eletricidade da destilaria.
(2): Inclui os custos de armazenamento do bagaço.
(3): Cogeração com turbinas de extração e condensação (*Condensing Extraction Steam Turbine – CEST*).

Posteriormente é apresentada uma tabela com as características técnico-econômicas para empreendimentos de geração hidrelétrica de acordo com o porte das usinas. Considerou-se, então, como hidrelétrica de grande porte (UHE Grande) uma usina com potência acima de 300 MW. As usinas consideradas como de médio porte (UHE Média) são aquelas que se encontram na faixa de potência que vai de 30 MW a 300 MW. Já as consideradas como pequenas centrais hidrelétricas (PCH) são aquelas com potência inferior a 30 MW.

O documento apresenta uma evolução no custo de investimento para usinas grandes e médias de acordo com as hipóteses da EPE (2006) para hidroeletricidade no Sistema Sudeste-Centro-Oeste, de modo a refletir o fato de que os empreendimentos mais baratos são escolhidos antes e torna-se, portanto, cada vez mais caro o aproveitamento do potencial hidrelétrico remanescente. Além de incluir os custos, a tabela a seguir, retirada do documento, também inclui o tempo de construção e características de desempenho para as hidrelétricas.

Tabela 21.13 – Características Técnico-Econômicas para as hidrelétricas

	2010	2015	2020	2025	2030
UHE Grande					
Custo de Investimento (US$/kW)	840	866	893	921	950
Custo de O&M Fixos (US$/kW/ano)	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
Custo de O&M Variáveis (US$/MWh)	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Fator de Disponibilidade (%)	55	55	55	55	55
Tempo de Construção	7	7	7	7	7
UHE Média					
Custo de Investimento (US$/kW)	1230	1293	1358	1427	1500
Custo de O&M Fixos (US$/kW/ano)	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
Custo de O&M Variáveis (US$/MWh)	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Fator de Disponibilidade (%)	60	60	60	60	60
Tempo de Construção	4	4	4	4	4
PCH					
Custo de Investimento (US$/kW)	1570	1570	1570	1570	1570
Custo de O&M Fixos (US$/kW/ano)	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6
Custo de O&M Variáveis (US$/MWh)	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
Fator de Disponibilidade (%)	63	63	63	63	63
Tempo de Construção	2	2	2	2	2

Duas tecnologias de geração termelétrica a gás natural são contempladas no estudo da Matriz Energética de Minas Gerais: termelétricas a gás natural de ciclo aberto, que utilizam a combustão interna para a geração de energia; termelétricas a gás natural de ciclo combinado, que aproveita a alta temperatura dos gases da descarga de uma turbina a gás ciclo aberto para a geração de vapor voltado para a geração elétrica. A primeira tecnologia, embora tenha um menor custo de investimento e seja de operação mais flexível, possui uma eficiência mais baixa. Dessa forma, a geração a ciclo combinado pode se tornar mais atrativa uma vez que o custo do combustível é o principal componente do custo total de geração térmica.

A tabela a seguir apresenta os custos e as características de desempenho da geração a gás natural em usinas com ciclo aberto e usinas com ciclo combinado.

Tabela 21.14 – Características técnico-econômicas das opções de geração a Gás Natural

	Ciclo Aberto	Ciclo Combinado
Custo de Investimento (US$/kW)[(1)]	500	800
Custo de O&M Fixos (US$/kW)	31,4	44
Custo de O&M Variáveis (US$/MWh)	1,7	2,4
Eficiência nominal (%)	38	50
Eficiência Operacional (%)[(2)]	35	45
Fator de Capacidade (%)	92	95

(1) Incluiu-se no custo de investimento das usinas a gás natural uma margem referente à tributação e à dificuldade de obtenção dessas tecnologias no mercado nacional

(2) Inclui perdas de operação em função da operação fora da carga nominal e das condições ISO da turbina.

Com relação à geração térmica a partir da queima de óleo combustível ou do diesel, a tabela a seguir apresenta as características técnico-econômicas destas duas fontes.

Tabela 21.15 - Características Técnico-Econômicas da Geração a Óleo Diesel e Óleo Combustível (MATRIZ ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS 2007-2030)

	Diesel	Óleo Combustível
Custo de Investimento (US$/kW)	1070	1070
Custo de O&M Fixos (US$/kW)	74.80	74.80
Custo de O&M Variáveis (US$/MWh)	3.70	3.70
Eficiência (%)	35	30
Fator de Capacidade (%)	12,5	80

Entre outras opções de geração de energia elétrica renováveis, o documento MATRIZ ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS 2007-2030 inclui as tecnologias de geração solar fotovoltaica e eólica. No caso da energia solar foi assumido que os custos de investimento caem ao longo do período de estudo, conforme mostra a Tabela 21.16. A Tabela 21.17 apresenta as características econômicas e de desempenho da geração eólica.

Tabela 21.16 – Características Técnico-Econômicas da Geração Solar Fotovoltaica

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Custo de Investimento (US$/kW)	10000	8000	5000	3000	3000	3000
Custo de O&M (US$/MWh)	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
Fator de Capacidade (%)	25	25	25	25	25	25

Tabela 21.17 – Características Técnico-Econômicas da Geração Eólica

Custo de Investimento (US$/kW)	1100
Custo de O&M Fixos (US$/kW)	10
Fator de Capacidade (%)	35

A Tabela 21.18 expressa valores para custo unitário de investimento de diferentes fontes. Os dados têm como fonte o Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE), este que por sua vez baseou-se em informações fornecidas pela EPE.

Tabela 21.18 – Custo Unitário de Investimento em Diferentes Usinas (CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA)

Usina	R$/kW
Hidroelétrica	2.805
Térmicas Nucleares	6.400
Térmicas Gás Natural	1.275
Térmicas Carvão	2.720
Térmicas Óleo Combustível	510
PCH	3.400
Térmicas Biomassa	1.530
Eólica	2.040

Nota: Preços sem tributos e encargos

Tendo em vista que esses valores, na verdade, seriam estabelecidos caso a caso, a partir de cada empreendimento a ser realizado, e as condições vigentes da sua análise de atratividade, a equipe responsável pelo estudo entende

que os dados consequentes são indicativos dos valores mínimos a serem considerados como necessários para viabilizar a construção das usinas.

Com relação aos custos de investimento em geral, o documento do CBIE afirma que existe uma discrepância de valores fornecidos pelas agências reguladoras e os empreendedores.

Para exemplificar esta questão, a associação dos investidores em PCHs menciona com frequência que os custos de investimentos alcançam, nos dias de hoje, em alguns casos, R$ 6.500,00/kW enquanto a EPE considera R$ 3.400,00/kW. No caso das térmicas a carvão, a associação especifica como custo de investimento mínimo R$ 3.400,00/kW, enquanto a EPE considera R$ 2.740,00/kW. Outro exemplo seria o dos parques eólicos que os empreendedores consideram R$ 2.135,00/kW e a EPE R$ 2.040,00/kW. Por fim, no caso da biomassa, os investidores consideram que os investimentos alcançariam R$ 2.550,00/kW, enquanto a EPE considera R$ 1.530,00/kW.

21.5.4 Estudo EPRI

A Tabela 21.19 apresenta uma estimativa para os custos e especificações técnicas de tecnologias de geração de energia para o ano de 2015 e a Tabela 21.20 para o ano de 2025. Os valores são oriundos do documento *Integrated Generation Technology Options* elaborado pelo *Electric Power Research Institute* (EPRI) em 2011. Os valores apresentados na tabela abaixo dizem respeito às usinas localizadas nos Estados Unidos.

Tabela 21.19 – Representativo de custos e performance das tecnologias de geração (2015)

Tecnologia	Capacidade Nominal da Planta (MW)	Fator de Capacidade (%)	Vida Útil (anos)	Taxa Específica de Calor (Btu/kWh)	Emissões de CO_2 (Ton. Métrica/MWh)	Custo Total da planta (US$/kW)	Total de Capital Necessário[1] (US$/kW)
Carvão: PCC[3] com sequestro de carbono (CCS)	750	80%	40	8,75	0,84	2000 - 2300	2400 - 2760
Carvão: IGCC[4] com sequestro de carbono (CCS)	600	80%	40	8,94	0,86	2600 - 2850	3150 - 3450
Gás Natural: Termelétrica com Ciclo Combinado	550	80%	30	6,90	0,37	1060 - 1150	1275 - 1375
Nuclear	1400	90%	40	10.000	-	3900 - 4400	5250 - 5900
Biomassa: LFB[5]	100	85%	40	12.900	0	3500 - 4400	4000 - 5000
Eólica: *On-shore*	100	28 - 40%	20	-	-	2025 - 2700	2120 -2825
Eólica: *Off-shore*	200	40%	20	-	-	3100 - 4000	3250 - 4200
Solar: CST[6]	100 - 250	25 - 49%	30	-	-	3300 - 5300	4050 - 6500
Solar: Fotovoltaica	10	15 - 28%	20	-	-	3400 - 4600	3725 - 5050

*Câmbio de referência dos custos - US$ Dez. 2010 (1 US$ = 1,69 R$)

[1]Total de Capital Necessário é baseado nos custos de "overnight capital" somado aos custos estimados do projeto/específico do terreno de construção e custos do proprietário.

[2]Custo de geração inclui estimativas de custos de capital, custos do combustível e custos de O&M variáveis e fixos.

[3]Tecnologia de geração que utiliza carvão pulverizado no processo (PCC - Pulverized Coal Combustion)

[4]Tecnologia de gaseificação do carvão integrada com ciclo combinado (IGCC - Integrated Gasification Combined Cycle)

[5]Biomassa com gaseificação em Leito Fluidizado Borbulhante (LFB)

[6] Térmica com concentradores solares (CST – Concentrating Solar Thermal)

Tabela 21.20 – Representativo de custos e performance das tecnologias de geração (2025) (EPRI)

Tecnologia	Capacidade Nominal da Planta (MW)	Fator de Capacidade (%)	Vida Útil (anos)	Taxa Específica de Calor (Btu/kWh)	Emissões de CO_2 (Ton. Métrica/MWh)	Custo Total da planta (US$/kW)	Total de Capital Necessário[1] (US$/kW)
Carvão: PCC[3] com sequestro de carbono (CCS)	600	80%	40	9.840 - 11.800	0,09 - 0,11	3200 - 4100	3850 - 4920
Carvão: IGCC[4] com sequestro de carbono (CCS)	500	80%	40	9.100 - 11.00	0,09 - 0,15	3100 - 3800	3750 - 4600
Gás Natural: Termelétrica com Ciclo Combinado	550	80%	30	6.320	0,34	1060 - 1150	1275 - 1375
Gás Natural: termelétrica com Ciclo Combinado e CCS	450	80%	30	7.140 - 8.000	0,04	1600 - 1900	1900 - 2250
Nuclear	1400	90%	40	10.000	-	3800 - 4250	5100 - 5700
Biomassa: LFB[5]	100	85%	40	11,4	0	3400 - 4250	3900 - 4850
Eólica: *On-shore*	100	28 - 40%	20	-	-	1960 - 2600	2050 -2720
Eólica: *Off-shore*	200	40%	20	-	-	2850 - 3650	3000 - 3825
Solar: CST[6]	100 - 250	26 - 58%	30	-	-	3000 - 4800	3700 - 5900
Solar: Fotovoltaica	10	15 - 28%	20	-	-	2900 - 3950	3175 - 4325

*Câmbio de referência dos custos - US$ Dez. 2010 (1 US$ = 1,69 R$)

[1]Total de Capital Necessário é baseado nos custos de "overnight capital" somado aos custos estimados do projeto/específico do terreno de construção e custos do proprietário.

[2]Custo de geração inclui estimativas de custos de capital, custos do combustível e custos de O&M variáveis e fixos.

[3]Tecnologia de geração que utiliza carvão pulverizado no processo (PCC - Pulverized Coal Combustion)

[4]Tecnologia de gaseificação do carvão integrada com ciclo combinado (IGCC - Integrated Gasification Combined Cycle)

[5]Biomassa com gaseificação em Leito Fluidizado Borbulhante (LFB)

[6] Térmica com concentradores solares (CST - Concentrating Solar Thermal)

Apesar de se tratar de informações a respeito da geração de energia elétrica nos Estados Unidos, os valores apresentados no estudo realizados pelo EPRI podem ser utilizados como referência para outros estudos similares.

21.5.5 Terceiro Ciclo de Revisão Tarifária Periódica

A Revisão Tarifária Periódica é um processo que ocorre de tempos em tempos para avaliar e corrigir os valores das tarifas de energia elétrica praticadas por uma determinada concessionária distribuidora.

Cada concessionária brasileira possui, em seu contrato de concessão, um prazo estabelecido para passar pelo processo de revisão. Em média este procedimento é realizado a cada quatro anos, mas, para algumas concessionárias este tempo pode variar para mais, como no caso da Cemig, cujas revisões de tarifas são realizadas a cada cinco anos; ou para menos, a exemplo da Escelsa, do Espírito Santo, que passa por revisões a cada três anos.

No caso da geração térmica nos sistemas isolados, para a valoração dos custos de operação e manutenção, foram considerados valores definidos no Anexo IV da Resolução Normativa nº 427/2011, que consideram o porte e a tecnologia de geração. Tais custos foram considerados como referência de geração própria de fonte térmica no SIN para a metodologia de cálculo sugerida no 3CRTP.

A diferença básica existente entre o Reajuste Tarifário Anual, que ocorre anualmente, e a Revisão Tarifária Periódica, que ocorre de tempos em tempos, é que o reajuste anual tem por objetivo corrigir as tarifas de acordo com a variação da inflação, enquanto a revisão, como o próprio nome sugere, tem por objetivo rever o valor das tarifas praticadas e não apenas atualizá-las monetariamente.

A Nota Técnica nº 098/2011 - SER/ANEEL tem por objetivo apresentar a metodologia a ser aplicada no Terceiro Ciclo De Revisão Tarifária Periódica das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica -3CRTP-.

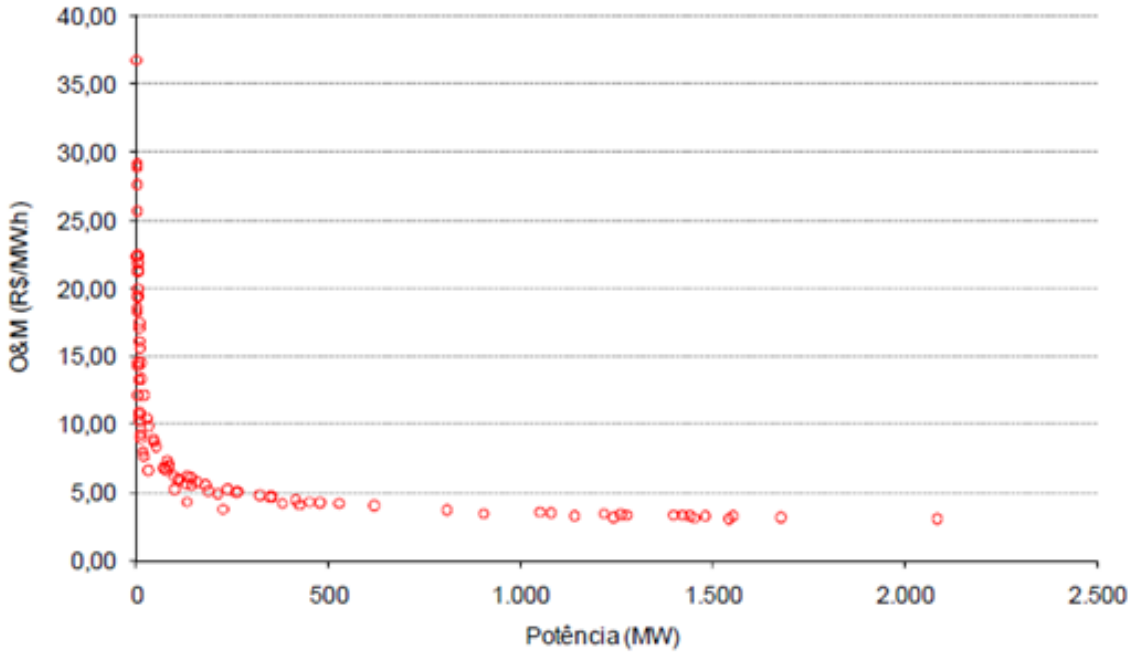
As tabelas a seguir, apresentam os custos de geração própria utilizados como referência na geração termelétrica para a metodologia sugerida na Nota Técnica em questão. Estes custos foram valorados a partir da soma de parcela referente à depreciação e remuneração dos ativos e parcela de Operação e Manutenção dos agentes de distribuição dos sistemas isolados.

Tabela 21.21 – Valores de Referência para o Custo de Geração de Usina Termelétrica* (NOTA TÉCNICA Nº 098/2011-SER/ANEEL DE 14/04/2011) * Base: 10/2008

Motor de Combustão Interna (óleo diesel)				
Potência Instalada (kW)		**Custo de O&M (R$/MW.h)**	**Receita Fixa (R$/MW.h)**	**Total (R$/MW.h)**
De	**a**			
Até	24	106,6	165,59	272,19
25	49	106,6	165,59	272,19
50	74	106,6	165,59	272,19
75	99	106,6	165,59	272,19
100	249	107,99	147,8	255,79
250	499	107,99	135,21	243,19
500	749	107,99	122,05	230,03
750	999	90,88	102,71	193,58
1.000	2.499	90,88	104,27	195,14
2.500	4.999	85,74	103,99	189,73
5.000	7.499	76,27	92,5	168,77
7.500	9.999	71,12	86,26	157,38
10.000	14.999	66,73	80,95	147,68
15.000	19.999	58,37	70,8	129,16
20.000	Acima	53,39	64,76	118,14
Motor de Combustão Interna (óleo combustível/PGE)				
Potência Instalada (kW)		**Custo de O&M (R$/MW.h)**	**Receita Fixa (R$/MW.h)**	**Total (R$/MW.h)**
De	**a**			
Até			115,88	176,38
7.500	9.999	56,42	114,26	170,68
10.000	14.999	52,94	107,22	160,16
15.000	19.999	46,3	93,77	140,08
20.000	Acima	42,35	85,77	128,13
Motor de combustão Interna (gás natural)				
Potência Instalada (kW)		**Custo de O&M (R$/MW.h)**	**Receita Fixa (R$/MW.h)**	**Total (R$/MW.h)**
De	**a**			
Até	7.499	50,34	122,91	173,24
7.500	9.999	46,94	121,26	168,2
10.000	14.999	44,04	113,78	157,83
15.000	19.999	38,52	99,52	138,04
20.000	Acima	35,23	91,03	126,26
Motor de Combustão Interna (bi-combustível)				
Potência Instalada (kW)		**Custo de O&M (R$/MW.h)**	**Receita Fixa (R$/MW.h)**	**Total (R$/MW.h)**
Todas		37,37	102,85	140,22
Turbina Gás (óleo diesel/PTE/OCTE)				
Potência Instalada (kW)		**Custo de O&M (R$/MW.h)**	**Receita Fixa (R$/MW.h)**	**Total (R$/MW.h)**
Todas		24,6	69,38	93,98
Turbina Gás (gás natural)				
Potência Instalada (kW)		**Custo de O&M (R$/MW.h)**	**Receita Fixa (R$/MW.h)**	**Total (R$/MW.h)**
Todas		22,9	52,49	75,49
Ciclo Combinado (óleo diesel/PTE/OCTE)				
Potência Instalada (kW)		**Custo de O&M (R$/MW.h)**	**Receita Fixa (R$/MW.h)**	**Total (R$/MW.h)**
Todas		14,98	105,64	120,61
Ciclo Combinado (gás natural)				
Potência Instalada (kW)		**Custo de O&M (R$/MW.h)**	**Receita Fixa (R$/MW.h)**	**Total (R$/MW.h)**
Todas		13,66	89,82	103,48

Já no caso da geração hidráulica, a Nota Técnica nº 098/2011 apresenta resultados provenientes de um estudo realizado em 2006 pela Superintendência de Regulação da Geração (SRG) para avaliar a adequação dos custos de O&M considerados da Tarifa de Energia de Otimização (TEO). Os valores resultam de uma análise de dados coletados com mais de 100 geradores hidrelétricos presentes no SIN, com potência instalada de 1 MW a 2.000 MW. O resultado deste estudo está demonstrado no gráfico abaixo:

Gráfico 21.4 - O&M em função da potência instalada (NOTA TÉCNICA Nº 098/2011-SRE/ANEEL)

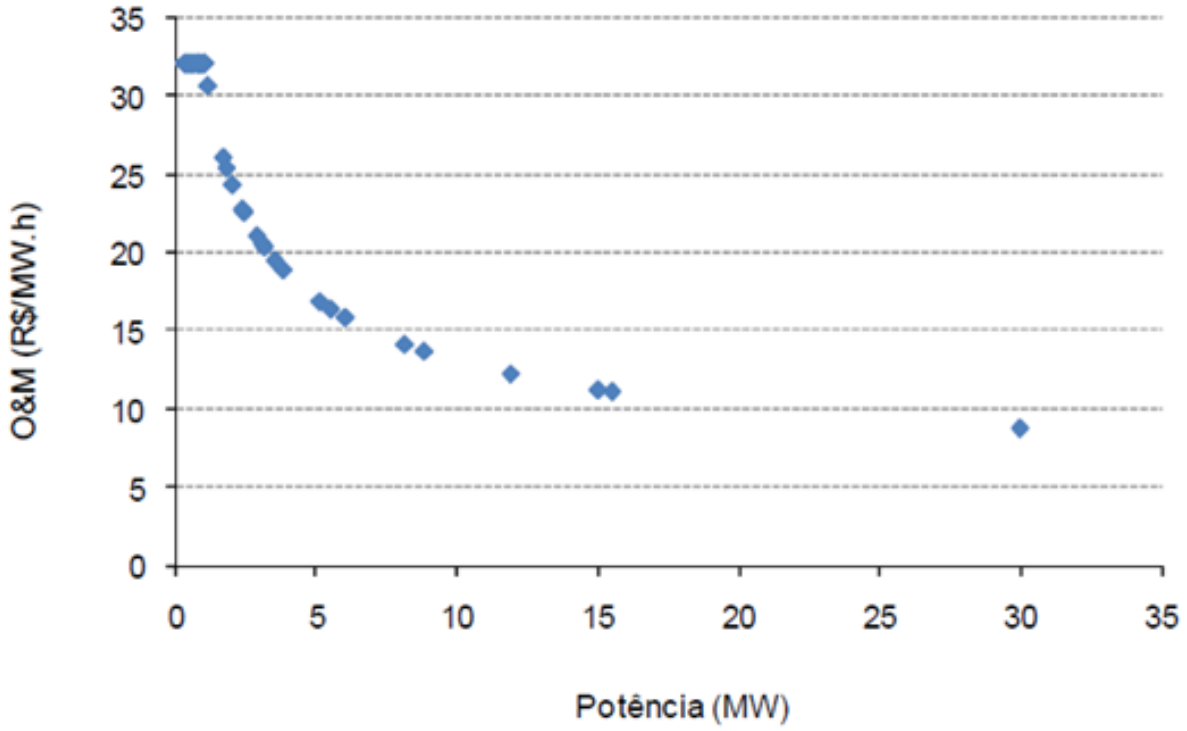


No gráfico, percebe-se que os custos de O&M estão negativamente correlacionados com a potência instalada, de tal forma que quanto maior a potência instalada, menores os custo e vice-versa.

De acordo com a nota técnica citada, o valor atualizado de O&M considerado na TEO, a preços de janeiro de 2011, é de R$ 4,37/MW.

A nota técnica nº 098/2011 da ANEEL, também apresenta resultados de custos de O&M para a geração hidráulica a partir da aplicação da metodologia descrita na mesma. Todos os dados são referentes a abril de 2011. O gráfico 21.5 abaixo apresenta os custos de O&M em função da potência (MW).

Gráfico 21.5 – O&M em função da potência Instalada da geração própria (NOTA TÉCNICA Nº 098/2011-SRE/ANEEL)



A Tabela 21.22 abaixo, além de apresentar os custos de O&M em função da potência instalada, também mostra as respectivas concessionárias. Os dados apresentados são para abril de 2011.

Tabela 21.22 - Resultados do custo de O&M das usinas de geração hidráulica (NOTA TÉCNICA Nº 098/2011-SRE/ANEEL)

Concessionária	Potência Instalada (MW)	O&M estimado (R$/MWh)
AME C	250,00	4,53
CELPA	30,00	8,83
CEMAT	0,40	32,11
CEMAT	0,60	32,11
CEMAT	0,76	32,11
CEMAT	0,80	32,11
CEMAT	1,68	26,11
CEMAT	1,79	25,43
CEMAT	2,00	24,36
CEMAT	3,52	19,52
CEMAT	5,10	16,92
CEMAT	5,49	16,45
CEMAT	8,12	14,18
CEMAT	11,90	12,30
CERON	2,40	22,68
CHESP	3,14	20,41
CJE	2,36	22,81
CLFM	0,59	32,11
CLFM	0,64	32,11
CNEE	1,00	32,11
CPEE	0,58	32,11
CPEE	3,06	20,62
CPEE	15,00	11,30
CSPE	0,33	32,11
CSPE	0,78	32,11
CSPE	1,00	32,11
DEMEI	0,50	32,11
DEMEI	3,80	18,95
DME-PC	0,72	32,11
DME-PC	0,90	32,11
DME-PC	8,82	13,75
DME-PC	15,50	11,17
ELETROCAR	1,12	30,69
ELETROCAR	2,88	21,11
ELFSM	0,24	32,11
ELFSM	0,42	32,11
ELFSM	0,46	32,11
ELFSM	0,90	32,11
ENF	0,29	32,11
ENF	2,41	22,64
ENF	6,00	15,90
HIDROPAN	0,75	32,11
HIDROPAN	0,83	32,11
HIDROPAN	0,85	32,11
MUXFELDT	1,00	32,11
UHENPAL	0,30	32,11
UHENPAL	1,00	32,11

21.6 Proinfa

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, instituído pela Lei nº 10.438/2002 e regulamentado pelo Decreto nº 5025, de 30 de março de 2004, tem o objetivo de aumentar a participação de empreendimentos concebidos com base em fonte Eólica, Biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), no Sistema Interligado Nacional.

Além de ser visto como um importante instrumento para diversificação da matriz energética do Brasil, o PROINFA visa garantir maior confiabilidade e segurança no abastecimento, principalmente após a crise do setor e o racionamento de eletricidade do ano 2001. O programa visa também a maior inserção do pequeno produtor de energia elétrica, aumentando o numero de agentes do setor.

Um dos meios para possibilitar a maior participação destas fontes alternativas de energia no mercado é através de financiamento. O PROINFA em conjunto com o BNDES, fornece uma linha de crédito de até 80% dos investimentos por meio dessas fontes, excluindo apenas bens e serviços importados e aquisição de terrenos. Os investidores devem garantir os outros 20 % com capital próprio. A mesma linha de crédito oferece outras vantagens como o não pagamento de juros durante a construção do empreendimento e a compra da energia, assegurada pela Eletrobrás, durante 20 anos. É importante também ressaltar que uma das exigências da legislação é a obrigatoriedade de um índice de nacionalização de 60% do custo total de construção dos projetos.

Em 2012, o valor total das cotas para custeio do Programa será maior que R$ 2 bilhões. Este valor corresponde a um aumento de 25,59% em relação ao ano de 2011, o que se deve à entrada de 11 empreendimentos de geração eólica no programa. O cálculo das cotas é baseado no Plano Anual do Proinfa (PAP) elaborado pela Eletrobrás e encaminhado para a Aneel até 30 de outubro de cada ano, para homologação. O custo do programa, cuja energia é contratada pela Eletrobrás, é pago por todos os consumidores finais do Sistema Interligado Nacional (SIN), exceto os classificados como baixa renda. O valor de custeio do PROINFA é dividido em cotas mensais, recolhidas por distribuidoras e por transmissoras de energia elétrica e repassadas à Eletrobrás. (1)

A Tabela 21.23 apresenta o custo médio da energia a ser faturada por fonte pelo PROINFA em 2012.

Tabela 21.23 – Custo médio por fonte do PROINFA 2012 (R$/MWh) (PLANO ANUAL DO PROINFA (PAP) 2012)

Fonte	R$/MWh
PCH	186,32
Eólica	311,87
Biomassa	149,14

21.7 Conclusões Específicas das Tecnologias

21.7.1 Energia Solar Fotovoltaica

A Agência Internacional de Energia (do inglês, IEA) publicou em 2011 uma pesquisa realizada no ano de 2010 com dados estatísticos a respeito da tecnologia solar fotovoltaica aplicada em diversos países selecionados. Na tabela a seguir é possível identificar alguns resultados, onde os preços aparecem em dólar e euro para dois tipos de sistemas. No primeiro, não conectados à rede, estão divididos entre sistemas menores que 1 kW de potência e

maiores que 1 kW. No segundo, os conectados à rede, se divide entre plantas abaixo de 10 kW e acima de 10 kW.

Tabela 21.24 – Preços indicados para os sistemas instalados em diferentes países. (IEA/PVPS - *TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS* – 2011)

Country	Off-grid (EUR or USD per W)				Grid-connected (EUR or USD per W)			
	<1 kW		>1 kW		<10 kW		>10 kW	
	EUR	USD	EUR	USD	EUR	USD	EUR	USD
AUS	4,2–10,5	5,5–13,8	4,9–13,9	6,4–18,3	3,5–4,9	4,6–6,4	4,2–6,3	5,5–8,3
AUT	4–9,1	5,3–12,0	4–9,1	5,3–12,0	3,2–4,2	4,2–5,5	2,4–4,1	3,2–5,4
CAN	12,2	16,0			4,8–5,9	6,3–7,8	3,0	3,9
CHE					3,9–5,3	5,5–7,0	3,3–4,1	4,4–5,4
DEU					2,6–3,2	3,4–4,2	2,3–2,5	3,0–3,3
DNK	4,0–6,8	5,3–8,9	8,1–13,5	10,7–17,8	2,7–4,0	3,6–5,3	2,7–5,4	3,6–7,1
ESP					2,5–3,1	3,3–4,1	2,4–2,7	3,2–3,6
FRA	6–10	7,9–13,2			4,8–5,9	6,3–7,8	3,5–5,5	4,6–7,2
ISR					2,4–6,6	3,2–8,7		
ITA	6–8	7,9–10,5			3,5–4,1	4,6–5,4	2,8–3,5	3,7–4,6
JPN					5,0	6,6	5,3	7,0
KOR					3,3	4,4	2,8	3,7
MEX	5,4	7,1	7,4	9,8	4,9	6,4	7,4	9,8
MYS					3,7	4,9	3,7	4,9
NOR	11,3–15,0	14,9–19,8			7,5–10,0	9,9–13,2		
PRT	8	10,5			4,5	5,9	3–4	3,9–5,3
SWE	7,4	9,7	6,3	8,3	4,8	6,3	3,7	4,9
TUR	4,5–5,5	5,9–7,2	4–4,5	5,3–5,9	2,5–3,5	3,3–4,6	2,5	3,3
USA					5,1	6,7	3,2–4,5	4,2–5,9

Percebe-se que o custo dos sistemas isolados, que possuem uma menor potência instalada, são maiores em relação aos sistemas conectados à rede. Este fato pode ser justificado pela necessidade de baterias e demais componentes associados, além disso, em muitos casos a instalação dos sistemas não conectados à rede é feita em regiões pouco favoráveis ao aproveitamento da irradiação solar.

O documento *Projected Costs of Generating Electricity 2010* também publicado pela IEA apresenta outras informações a respeito da geração fotovoltaica. Foram analisados 17 sistemas com esta tecnologia em diferentes países, nos quais a capacidade instalada variou entre 0.002 MW e 20 MW. Como resultado do estudo, o fator de capacidade esteve entre 9,7% (Holanda) e 24,9% (França). Já o valor mínimo para o custo total da planta foi de 3.067 US$/kW, para plantas de grande porte, localizadas no Canadá, e um valor máximo de 7.381 US$/kW na República Tcheca.

O documento também afirma que os custos de investimento para a tecnologia solar fotovoltaica poderão cair até 70% no ano de 2030, reduzindo do valor atual, que está em média entre 4.000 US$/kW e 6.000 US$/kW para

1.200 US$/kW a 1.800 US$/kW. Dessa redução nos custos, 40% deverá acontecer até o ano de 2015 e 50% até o ano de 2020.

Para um planta com uma capacidade instalada de 1 MW, com um fator de capacidade de 13% e uma vida útil de 25 anos, o custo total da planta ou *overnight cost* foi de 6.005,76 US$/kW, enquanto que o custo de O&M foi de 29,95 US$/MWh. Já o custo da energia gerada será 410.81 US$/MWh, considerando uma taxa de desconto de 5 %, ou 616,55 US$/MWh para uma taxa de desconto de 10%.

Tabela 21.25 – Dados técnicos e econômicos específicos de uma usina fotovoltaica (*PROJECTED COSTS OF GENERATING ELECTRICITY 2010 – IEA*)

Solar Fotovoltaica							
Capacidade (MW)	Custos do proprietário e de construção	Custos de investimento ($/kW)*	O&M ($/MWh)	Fator de capacidade (%)	Vida útil (anos)	LCOE ($/MWh)	
						5%	10%
1	5.759,35	6.005,79	29,95	13	25	410,81	616,55

* Custo de investimento corresponde ao custo total da planta ou "overnight costs".

A tabela a seguir mostra o impacto dos parâmetros selecionados sobre a estrutura de custos da geração fotovoltaica para taxas de desconto de 5 % e 10 %.

Tabela 21.26 – Proporção dos custos para geração fotovoltaica (*PROJECTED COSTS OF GENERATING ELECTRICITY 2010 – IEA*)

Parâmetro	Taxa de desconto	
	5%	10%
Custo total de investimento	91,70%	94,90%
O&M	7,30%	4,90%
Custo de desmantelamento	1,00%	0,20%

Já a publicação *Program on Technology Innovation: Integrated Generation Technology Options* preparada pelo *Electric Power Research Institute* (EPRI), prevê um cenário de custos para os anos de 2015 e 2025 da geração fotovoltaica. Uma planta com capacidade nominal de geração de 10 MW, com fator de capacidade entre 15% e 28% e uma vida útil de 20 anos, no ano de 2015, o seu custo total estará entre 3.400 US$/kW e 4.600 US$/kW, o total de capital necessário para a construção ficará entre 3.725 US$/kW e 5.050 US$/kW, os custos fixos de O&M será de 50 a 65 US$/kW.ano e por fim, o custo da energia gerada de 242 a 455 US$/MWh.

Para uma usina com as mesmas especificações técnicas da que foi considerada no ano de 2015, em 2025 terá custos menores. O custo total da planta ficará entre 2.900 US$/kW e 3.950 US$/kW, o total de capital necessário deverá ser de 3.175 US$/kW a 4.325 US$/kW, os custos fixos de O&M variam entre 50 e 65 US$/kW.ano e o custo da energia gerada vai de 210 a 396 US$/MWh.

Em um estudo publicado em 2005, analisou-se o preço de 47 sistemas isolados de 100 a 6.600 W, de 1.987 à 2004, indicando uma tendência de preço de aproximadamente 1 US$/W ao ano, com o custo variando entre 7 e 10 US$/W (HEGEDUS, OKUBO, 2005). Já um outro estudo publicado pelo Programa de Sistemas Fotovoltai-

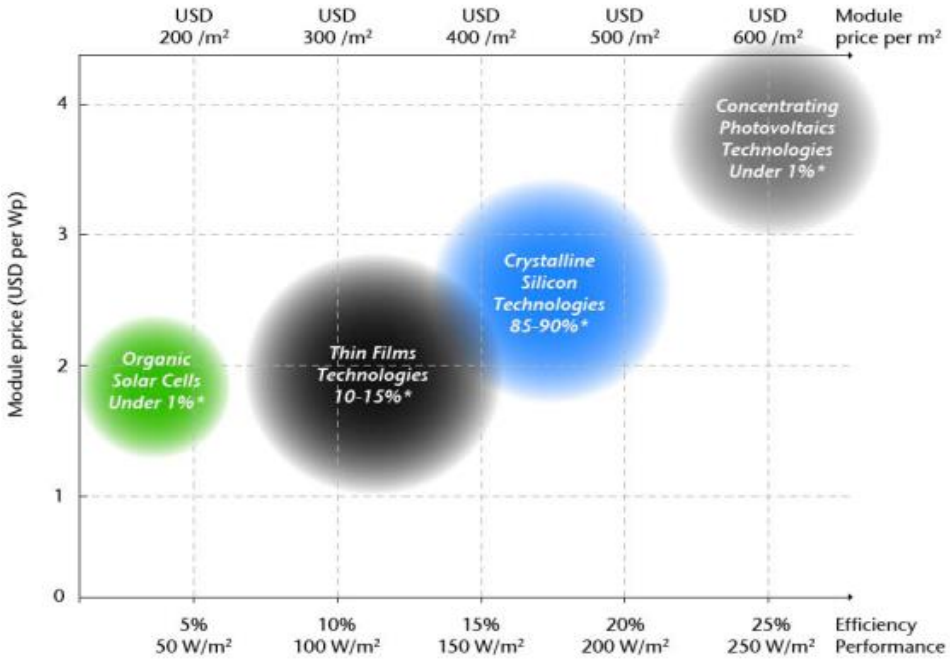
cos de Potência da Agência Internacional de Energia confirma que os preços estão reduzindo ano após ano, e indica que os sistemas fotovoltaicos isolados tendem a custar aproximadamente o dobro quando comparados com sistemas conectados à rede, por necessitaram de baterias e demais componentes associados. Em 2004, sistemas isolados de até 1 kW apresentam variação de preço de 9 a 25 US$/W, sendo que o valor típico encontra-se em torno de 13 US$/W. Sistemas maiores de 1 kW apresentam variação semelhante e preços ligeiramente menores. Para sistemas conectados à rede os valores chegam à 6 US$/W (IEA-PVPS, 2006).

Tabela 21.27 – Valores típicos de implantação de usinas geradoras de energia

Tipo de Geração	Custo de implantação ANEEL [US$/W]	Custo de implantação CESP/IMT [US$/W]
Termelétrica a Diesel	0,40 à 0,50	0,35 à 0,50
Termelétrica a gás	0,40 à 0,65	0,35 à 0,50
Termelétrica à vapor	0,80 à 1,00	-
Termelétrica ciclo combinado	0,80 à 1,00	-
Pequenas centrais hidrelétricas	1,00	-
Geração eólica	1,20 à 1,50	1,00
Células fotovoltaicas	-	5,00 à 10,00

O progresso tecnológico possui um importante papel no desenvolvimento da geração fotovoltaica. O principal foco de melhorias desta tecnologia é com relação ao aumento de eficiência na conversão da luz solar em eletricidade. Existem vários tipos de dispositivos para esta tecnologia, desde células solares com baixo custo e baixa eficiência até células de alto custo e alta eficiência. Comercialmente, os módulos fotovoltaicos se dividem em duas categorias: silício cristalino e filme fino. Outras tecnologias emergentes, incluindo solar fotovoltaico de concentração (CPV) e células solares orgânicas, possuem um significativo potencial de crescimento de desempenho e redução de custos. A figura a seguir ilustra os custos e performances de diferentes tecnologias da geração fotovoltaica.

Figura 21.2 – Performance e preço de diferentes módulos fotovoltaicos. (*MELBOURNE ENERGY INSTITUTE - RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGY COST REVIEW*)



Os custos de produção de energia a partir de sistemas fotovoltaicos interligados à rede são ainda muito elevados. Os números, apresentados na Tabela 21.28, para estimativas de custos de diferentes tecnologias confirmam a informação. Por outro lado, um estudo baseado na curva de aprendizagem para a produção de módulos fotovoltaicos indica que a energia fotovoltaica poderá competir com as fontes fósseis de energia a partir de 2020, desde que sejam criados programas de incentivo à sua utilização. Além disso, os custos ambientais, inclusive os associados à área de saúde, da geração térmica a partir de combustíveis fósseis devem ser internalizados, por exemplo, mediante a criação de taxas incidentes sobre a energia a partir destas fontes.

Tabela 21.28 – Estimativas de custos diretos de produção para diferentes tecnologias de produção de módulos fotovoltaicos. (PNE 2030)

Tecnologia	Custo estimado US$/kWp		Potência MWp	Eficiência %
Silício cristalino	Min	1.180	500	20
	Max	2.980	10	15
Silício multicristalino	Min	860	500	
	Max	2.560	10	14
a-Si LT-f-Si	Min	840	60	9
	Max	3.290	10	6
HT-f-Si		1.190	n.d.	14
CIGS	Min	850	60	12
	Max	2.740	20	9
Cd-Te	Min	0.870	60	12
	Max	2.800	10	8

Por outro lado, deve-se considerar, na comparação sugerida, que a energia fotovoltaica pode ser gerada no local de consumo, o que tende a aumentar sua vantagem competitiva através da economia de custos na transmissão e na distribuição, caracterizando a geração distribuída.

Por essa linha de raciocínio, se essas vantagens são consideradas, e observando, ainda, os condicionantes já citados, a energia fotovoltaica poderia ser competitiva mesmo antes de 2020, principalmente nos mercados em que os preços de energia elétrica são mais elevados, como é o caso geral da energia elétrica para uso residencial.

Em complemento, uma análise de oportunidades de investimento (Rogol *et al.*, 2004 *apud* Da Silva, 2006) revela que, do ponto de vista do consumidor, a energia solar já é competitiva com a energia da rede em diversos mercados, quando considerados os incentivos públicos e privados, como mostra a Tabela 21.29 (PNE 2030).

Tabela 21.29 – Comparação entre custos da energia fotovoltaica e preço da energia da rede elétrica (PNE 2030)

Custo típico da energia solar (US$ cents/kWh)				
Local	**Sem incentivos**	**Com incentivos**		**Tarifa de energia elétrica**
		Governamentais	**Governamentais e privados**	
Alemanha	50	-17	-20	17
Espanha	30	25 a 30	-20	7
Nova Jérsei	50	45	11	12
Califórnia	35	10 a 15	10 a 15	15
Japão	50	45	20 a 40	21

Pesquisadores da Queens's University, no Canadá, realizaram um recente estudo sobre células fotovoltaicas, publicado em julho de 2011, no qual o principal propósito foi a atualização dos custos reais desta tecnologia. O grupo de pesquisa revisou vários outros estudos a respeito do assunto, publicados ao longo das últimas décadas, e concluiu que os números utilizados nas comparações de custos estão errados por uma larga margem, não possuem critério e não são questionados. Segundo Joshua Pearce, um dos pesquisadores envolvidos, o primeiro erro encontrado foi na durabilidade dos painéis solares. Para ele, com base nos últimos estudos de longo prazo, uma análise econômica deve considerar um ciclo de vida de 30 anos, no mínimo. Outro fator que tem sido exagerado

é a perda de eficiência das células fotovoltaicas ao longo do tempo. Enquanto a maioria dos estudos considera que essa decadência é de 1% ao ano, na verdade os painéis perdem apenas entre 0,1 e 0,2%. Por fim, o estudo ressalta que, as análises recentes têm largas variações quanto ao custo por watt de eletricidade gerada, que é citado entre US$ 2 e US$ 10, enquanto que para Pearce o custo verdadeiro em 2011, para painéis solares disponíveis no mercado mundial, é de US$ 1, mesmo que os custos dos próprios painéis e da mão-de-obra para instalação variem largamente ao redor do mundo [13].

21.7.2 Energia Eólica

A distribuição dos custos de um projeto em energia eólica pode variar largamente segundo as características de cada empreendimento, tornando cada projeto um estudo de caso em particular, uma vez que, pelas médias dos custos de projetos já implementados, cada etapa apresenta uma faixa de participação bem definida no custo total de projeto.

O tamanho do parque eólico influencia fortemente a participação de cada etapa de distribuição de custos. Um sistema eólico constituído de duas a cinco turbinas é considerado uma pequena fazenda eólica. Sistemas com mais de cinco unidades são considerados fazendas eólicas de médio/grande porte.

Somente os equipamentos representam de 70% a 80% do custo total da energia eólica. A turbina eólica representa o custo mais significativo podendo variar entre 1.700 e 2.200 R$/kW. Para projetos de grande porte, a participação do custo da turbina nos custos totais de investimento é muito alta, diluindo assim, os demais custos em relação ao total do investimento.

Uma distribuição dos custos médios de cada etapa de um projeto eólico pode ser vista na Tabela 21.30. Essa tabela mostra a faixa de participação de cada etapa no custo total de projetos de pequeno e médio/grande porte.

Tabela 21.30 – Estrutura de custos de projetos em energia eólica (%) (PNE 2030)

Itens de custo	Porte	
	Pequeno	Médio/grande
Estudo de viabilidade	1 - 7	< 2
Negociações de desenvolvimento	4 -10	1 - 8
Projeto de engenharia	1 - 5	1 - 8
Custo de equipamentos	47 -71	67 -80
Instalações e infra-estrutura	13 - 22	17 -26
Diversos	2 -15	1 – 4

21.7.2.1 Caracterização econômica

Os principais parâmetros que devem ser relacionados à avaliação econômica de usinas eólicas são:

- custos de investimentos, incluindo custos auxiliares de fundações e de conexão à rede;
- custos de operação e manutenção;
- vida útil das turbinas; e
- taxa de desconto.

Além disso, como a produção de eletricidade é altamente dependente das condições de vento, a escolha da localização é também crucial para a viabilidade econômica.

Os custos iniciais de um projeto eólico englobam importantes encargos em diversas etapas, tais como estudo de viabilidade técnica, negociações e desenvolvimento, projetos de engenharia, custos dos equipamentos, infraestrutura e despesas diversas.

21.7.2.2 Custo de investimento

A implantação de uma fazenda eólica requer investimentos na ordem de 1.500 US$/kW, variando de acordo com o local e o país. Na Europa, o custo médio de dos parques eólicos instalados em 2006 foi de 1.225 €/kW, segundo a Associação Européia de Energia Eólica (EWEA).

No estudo *Projected Costs of Generating Electricity* publicado pela Agencia Internacional de Energia (IEA) em conjunto com a Agência de Energia Nuclear (NEA) mostra que existe uma grande variação no Custo Total da Planta (TPC) para as usinas eólicas *onshore*, com valores que vão de 1.821US$/kW a 3.716 US$/kW. Neste estudo foram contemplados parques eólicos com capacidade instalada de 2 MW a 200 MW e fator de capacidade entre 20% e 41%. Para as usinas *offshore* o Custo Total da Planta varia entre 2.540 US$/kW e 5.554 US$/kW. Os fatores de capacidade estão entre 34% e 43%.

De acordo com a avaliação econômica feita pelo PNE, os custos de investimento de usinas eólicas variam entre 800 e 1.800 US$/kW, com um fator de capacidade de 30% e possuem uma vida útil de 20 anos.

Para Ronaldo dos Santos Custódio em seu livro Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica (2009) considera-se valores de investimento variando entre 800 US$/kW e 2.000 US$/kW. Esta variação é justificada pela incerteza dos custos no Brasil, devido à imaturidade do mercado de geração eólica.

Tabela 21.31 – Composição dos custos das turbinas *onshore* e *offshore* (PNE 2030)

Composição dos custos	*Onshore*	*Offshore*
Total de investimento	1.000 a 1.400 US$/kW	1.500 a 2.300 US$/kW
Turbina Eólica	65 a 75 %	30 a 50%
Fundação	5 a 10%	15 a 25%
Conexão elétrica interna e conexão via cabo submarino	10 a 15%	15 a 30%
Instalação	0 a 5%	0 a 30%
Outros	5%	8%

Conforme analisado pela *European Wind Energy Association* (*EWEA*), os custos adicionais dos projetos implementados na Europa variam entre 15% e 40% sobre o preço da turbina. Considerando os custos adicionais, são identificadas três categorias de projetos:

- "baratos", adicional de 15% do valor da turbina;

- “médios”, adicional de 30% do valor da turbina;
- “caros” (adicional de 40% do valor da turbina).

A Tabela 21.32 apresenta um sumário de custos referenciais para projetos de energia eólica na Europa.

Tabela 21.32 – Sumário dos custos de referência da energia eólica na Europa (PNE 2030)

Parâmetros de Custo	Unid.	Categoria do projeto		
		Barato	Médio	Caro
Custo de instalação (*)	US$/kW	800	950	1.130
Período de construção	meses	6	6	6
Amortização	anos	20	20	20
Custos anuais de O&M				
Fixos	US$/kW	13,50	20,00	27,00
Variáveis	US$/MWh	2,00	3,00	4,00

Nota: (*) Considerando ventos de 7 m/s na altura do rotor.
Fonte: Tolmasquim, 2004.

21.7.2.3 O&M

Entre os parâmetros mais relevantes estão os custos de investimentos e de operação e manutenção.

Custos de operação e manutenção incluem os seguintes itens: seguro; arrendamento do uso do terreno, manutenção regular; administração; peças sobressalentes e outros custos administrativos. Muitas vezes o custo estimado de manutenção e operação das turbinas é fornecido pelo próprio fabricante.

Com base na experiência da Alemanha, Espanha, Reino Unido e Dinamarca, estima-se que os custos de operação e manutenção de usinas eólicas situam-se na faixa de 13 a 17 US$/MWh de energia gerada, por toda a vida útil da usina.

Na avaliação econômica do custo de geração eólica proposta pelo PNE 2030, foram considerados os seguintes custos de operação e manutenção: custos fixos de R$ 46,00/KW.ano e variáveis de R$ 0,06/MWh.

21.7.2.4 Relação potência e custo

Dutra & Tolmasquim (2003) abordaram os custos iniciais de um projeto eólico considerando os custos das turbinas, os custos com importação das mesmas e as despesas adicionais de projeto, englobando, assim, os custos totais de projeto. Foram analisados nove tipos de turbinas: três de potência entre 200 kW e 300 kW, três entre 500 kW e 750 kW e três turbinas entre 1,3 MW e 1,5 MW.

Na internalização dos custos no Brasil, estão considerados os custos com importação de equipamentos e respectivos impostos inerentes.

Além disso, como os preços levantados referem-se a equipamentos produzidos e comercializados na Alemanha, considerou-se também custo de frete e seguro. A partir de informações de agentes importadores, estimou-se que o frete marítimo da Europa para o Brasil em 103,50 US$/t ou 103,50 US$/m^3 (abril/2002) [12], e o prêmio do seguro do equipamento para o transporte marítimo em 1% do custo da turbina no seu país de origem.

Com relação aos custos em moeda nacional, estão considerados os impostos aplicáveis (imposto sobre produtos industrializados – IPI e imposto sobre circulação de mercadorias e serviços – ICMS), assim como frete e seguros.

A Tabela 21.33 resume as estimativas de custo apuradas.

Tabela 21.33 – Estimativas de custos de turbinas (PNE 2030)

Potência (kW)	Custo das turbinas			R$/kW
	10^3 DM$	10^3 US$[1]	10^3 R$[2]	
200	418	194,9	445,9	2.229
250	430	199,0	458,7	1.835
300	595	276,0	634,7	2.116
500	848	393,3	904,6	1.809
750	1.178	546,6	1.257,1	1.676
660	1.140	528,7	1.216,0	1.842
1.300	2.110	978,7	2.250,9	1.731
1.500	3.005	1.393,4	3.204,9	2.137
1.500	2.850	1.321,8	3.040,0	2.027

Nota: 1 - Cotações em dezembro de 2000; e 2 - US$ 1.00 = R$ 2,30.

Fonte: DUTRA e TOLMASQUIM, 2003.

21.7.2.5 Presença da tecnologia no Brasil

O potencial eólico brasileiro tem despertado o interesse de vários fabricantes e representantes dos principais países envolvidos com essa tecnologia. Tal interesse pode ser evidenciado na instalação da *Wobben Wind Power*, empresa alemã subsidiária da Enercon GbH, que, inicialmente, tinha a responsabilidade da construção de pás das turbinas eólicas dos modelos da Enercon e que já possui infra-estrutura e parcerias que viabilizaram a manufatura dos modelos E-40-600kW e E-48-800 kW, com alto índice de aproveitamento de matéria prima e mão de obra nacional.

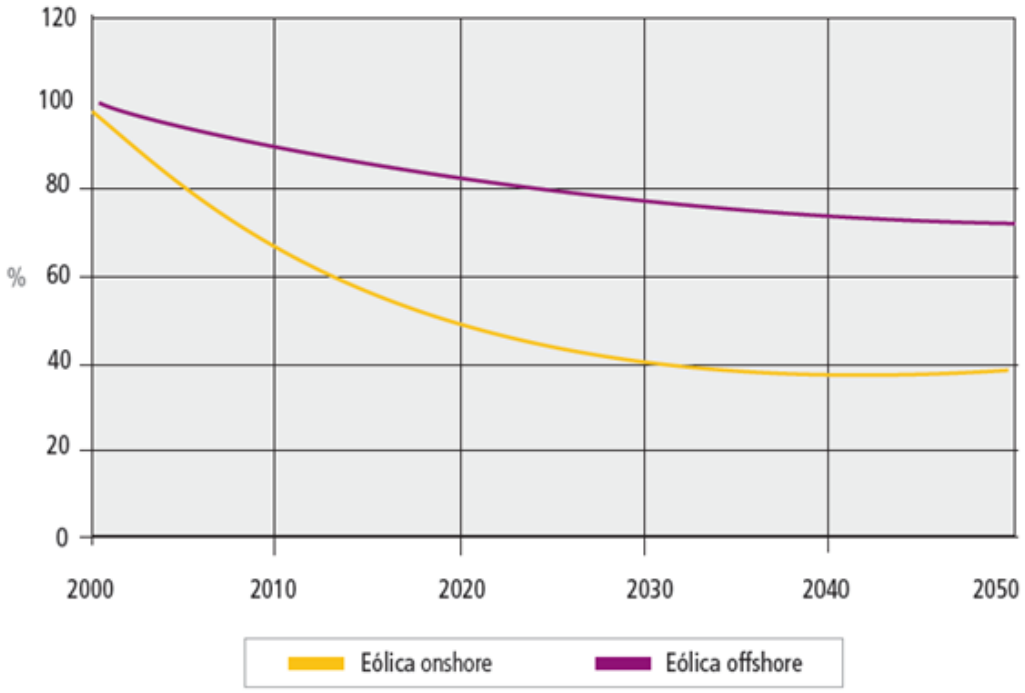
Diversas empresas estrangeiras já mostraram interesse em estudos de viabilidade técnica para implementação de grandes parques eólicos no Brasil. Existem cerca de 5,3 GW, em projetos eólicos, autorizados pela ANEEL. Empresas, como a *Wobben Wind Power* Industria e Com. Ltda, SIIF Énergies do Brasil Ltda, Fuhrmet Energy Brasil Ltda, Energias Renováveis do Brasil Ltda e outras, já mantêm torres de medições e estudos de infraestrutura para instalação e operação de parques eólicos que, nesta fase, em sua grande maioria, encontram-se planejados para instalação ao longo da costa da região Nordeste.

21.7.2.6 Curva de aprendizado e custos futuros

Nos últimos quinze anos, o custo de instalação das usinas eólicas tem caído bastante, principalmente devido à redução do preço das turbinas, do melhor conhecimento da tecnologia, da melhoria da eficiência e dos métodos

de produção. Há, também, uma tendência de que os custos se reduzam na medida em que aumenta o tamanho das turbinas. De acordo com Teske (2005), por volta de 2030, o custo de investimento das usinas *onshore* deve cair na ordem de 60% do valor de 2000 e de 20% para as *offshore*, como ilustra a Figura 21.3.

Figura 21.3 – Curva de aprendizagem para usinas eólicas (PNE 2030)



Espera-se que o desenvolvimento tecnológico, hoje já amadurecido, possa contribuir para a redução dos custos da turbina eólica principalmente no uso de materiais alternativos e mais resistentes, diminuindo, assim, além dos custos da própria turbina, os custos em manutenção preventiva. Espera-se, ainda, outros itens de custo, como fundação, conexão à rede e acesso, possam também ser reduzidos num futuro próximo, como resultados das pesquisas em andamento.

21.7.2.7 Futuro

A energia eólica já vem sendo utilizada, com sucesso, em vários países, e o Brasil apresenta características privilegiadas para o uso de fontes renováveis de energia, em especial para a energia eólica. Com algumas Leis e Resoluções já em vigor, o desenvolvimento das fontes alternativas encontra um aporte legislativo para a sustentabilidade de novos projetos. A Lei n° 10.438, de 2002, ao criar o PROINFA e a CDE, mostra-se como um das mais importantes iniciativas em programas governamentais para o incentivo de fontes alternativas de energia, em especial a energia eólica, a energia de biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas. De fato, já na primeira fase do programa, a Lei estabelece a meta de implantação de 3.300 MW nessas três fontes.

Segundo o relatório *The Economics of Wind Energy* da Associação Européia de Energia Eólica (EWEA), os custos das usinas eólicas vêm decrescendo e esta tendência deverá continuar devido a diversos fatores como o desenvolvimento de turbinas maiores e mais eficientes, redução dos custos de O&M, o barateamento das fundações, entre outros. Além disso, novas pesquisas no perfil do vento *offshore* vêm aumentando a confiança da indústria eólica, especialmente nessa nova fronteira (*offshore*) de desenvolvimento.

A expansão das usinas eólicas deve permanecer nos próximos anos no Brasil, uma vez que o preço médio de venda dessa fonte de energia no país tem diminuído: nos últimos anos, de 148 R$/MWh, para empreendimentos contratados nos leilões de energia, em 2009, para 130,86 R$/MWh no leilão A-3 de 2010 e 101,41 R$/MWh nos leilões realizados em 2011(FONTE: Sistema Elétrico Brasileiro Expansão Hidrotérmica – Centro Brasileiro de Infraestrutura – Adriano Pirez e Abel Holtz – Setembro/2011).

Mesmo considerando perspectiva de redução do custo de investimento no longo prazo, pode-se estimar o custo médio de geração de energia elétrica a partir de usinas eólicas entre 100 e 280 R$/MWh, antes do imposto, dependendo da taxa de desconto. A consideração de impostos sobre a receita e sobre o resultado, eleva esse custo para valores entre 130 e 380 R$/MWh (PNE 2030).

21.7.3 PCH

21.7.3.1 Custo de Investimento

Segundo o PNE 2030 o custo de investimento para PCH é de 1.996 US$/kW. Especificamente em relação às PCHs participantes do PROINFA, o MME registra custos médios de investimento na ordem de 1.800 US$/kW. Tomando como referência um trabalho realizado pelo Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE), o custo unitário de investimento para PCH é de 3.400 R$/kW. Já o preço médio de venda da energia nos leilões de energia nova foi de 143 R$/kW, desconsiderando os tributos e encargos do setor.

21.7.3.2 Custos de Operação e Manutenção (O&M)

Representa os custos de operação e manutenção da usina e de todo o pessoal administrativo durante o período de análise, na moeda escolhida. O custo de operação e manutenção deverá ser baseado em: composição de custos, experiências anteriores, grau de automação, etc, sendo que, na falta de outros métodos, sugere-se utilizar como estimativa o valor de 5% do custo total do investimento inicial.

Os custos de O&M variam de usina para usina, dependendo do seu grau de automação, do seu estado físico e da sua localização. Em geral esses dados acompanham as informações repassadas pelo atual proprietário. Entretanto, utiliza-se genericamente 1,50 US$/MWh, quando não disponível o valor específico [14].

Tolmasquim (2005) considera, na avaliação da geração de PCH, o valor de R$ 3,2 US$/MWh para os custos operacionais. Outra referência são as "Diretrizes para Projetos de PCH" (ELETROBRAS, 1999), este sugere que os custos de operação e manutenção devem ser baseados na composição de custos, experiências anteriores, grau de automação, etc, sendo que, na falta de outros métodos, sugere-se utilizar como estimativa o valor de 5% do custo total do investimento inicial.

De acordo com o PNE 2030, considerando fator de capacidade de 60%, taxa de desconto de 12% ao ano, vida útil de 30 anos e parametrizando-se o investimento inicial entre US$ 1.000/kW e US$ 2.000/kW, calcula-se o custo de operação e manutenção de PCH entre US$ 1,5/MWh e US$ 2,9/MWh.

21.7.3.3 Impostos e Taxas (I & T)

Os impostos e taxas anuais incidentes neste tipo de empreendimento e que deverão ser considerados, prioritariamente, são:

- Cotas Anuais da Reserva Global de Reversão (RGR) – O valor é estabelecido anualmente pela ANEEL. Como estimativa , considerar 2,5% do investimento anual do concessionário, no empreendimento, observado o limite de 3,0% da receita anual de venda de energia oriunda do mesmo;

- Taxa de Fiscalização da ANEEL (TFSEE) – O valor é estabelecido anualmente pela ANEEL. Como estimativa, considerar 0,5% do valor da receita anual de venda de energia auferida pelo empreendimento;

- Compensação Financeira - Refere-se a pagamento devido aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios pelo uso dos recursos hídricos. Este valor poderá ser estimado, considerando-se 6% do montante de energia gerada, valorada à tarifa estabelecida pela ANEEL, para este fim. Segundo a legislação em vigor estão isentas de pagamento as centrais hidrelétricas consideradas PCHs. Ver legislação pertinente;

- PIS;

- COFINS;

- Outros - incluir outras despesas, tributos ou taxas não indicadas e que devam ser consideradas.

21.7.3.4 Encargos de Transmissão

Refere-se, quando aplicável, ao custo do uso da rede de transmissão de energia elétrica.

Seguros – Refere-se ao custo dos seguros contratados pelo empreendedor. Quanto às despesas com seguro das instalações, fica o registro de Tolmasquim (2005), que considerou, na avaliação do custo da geração hidrelétrica, tanto na usina de grande porte quanto na PCH, o percentual de 0,5% aplicável sobre o investimento inicial.

Imposto sobre a Renda (IR) – Representa a provisão para pagamento do Imposto sobre a Renda.

Investimento Fixo (If) – Representa o montante de capital próprio investido na implantação do empreendimento. Devem ser incluído os gastos com o sistema de transmissão de energia associado (Linhas de Transmissão e Subestações necessárias à entrega da energia gerada aos compradores).

Fabricantes/Fornecedores – Com a reestruturação do setor elétrico nacional, houve uma retomada do interesse no mercado por parte das empresas internacionais, tradicionais fabricantes de componentes de hidromecânicos. Há um crescimento do interesse do capital privado na produção independente de energia elétrica. Alguns grandes fabricantes tradicionais se estruturaram, tornando-se competitivos em se tratando de equipamentos para PCHs [15].

21.7.3.5 Termelétrica a Gás Natural

Duas tecnologias de geração termelétrica a gás natural são contempladas no estudo da Matriz Energética de Minas Gerais: termelétricas a gás natural de ciclo aberto, que utilizam a combustão interna para a geração de ener-

gia; termelétricas a gás natural de ciclo combinado, que aproveita a alta temperatura dos gases da descarga de uma turbina a gás ciclo aberto para a geração de vapor voltado para a geração elétrica. A primeira tecnologia, embora tenha um menor custo de investimento e seja de operação mais flexível, possui uma eficiência mais baixa. Dessa forma, a geração a ciclo combinado pode se tornar mais atrativa uma vez que o custo do combustível é o principal componente do custo total de geração térmica.

A tabela a seguir apresenta os custos e as características de desempenho da geração a gás natural em usinas com ciclo aberto e usinas com ciclo combinado.

Tabela 21.34 – Características técnico-econômicas das opções de geração a gás Natural

	Ciclo Aberto	**Ciclo Combinado**
Custo de Investimento (US$/kW)[(1)]	500	800
Custo de O&M Fixos (US$/kW)	31,4	44
Custo de O&M Variáveis (US$/MWh)	1,7	2,4
Eficiência nominal (%)	38	50
Eficiência Operacional (%)[(2)]	35	45
Fator de Capacidade (%)	92	95

(1) Incluiu-se no custo de investimento das usinas a gás natural uma margem referente à tributação e à dificuldade de obtenção dessas tecnologias no mercado nacional
(2) Inclui perdas de operação em função da operação fora da carga nominal e das condições ISO da turbina.

Segundo o PNE 2030 o custo do capital instalado de uma planta a gás natural ciclo simples na faixa de potência de 100 MW gira em torno de 550 US$/kW. Nesta mesma faixa de potência, o custo médio do capital instalado de uma planta ciclo combinado é de 700 US$/kW. Para as plantas de cogeração, depende muito da tecnologia adotada, mas em média, gira em torno de 650 US$/kW. Os valores considerados para operação e manutenção (O&M) em plantas de ciclo combinado estão na faixa de 2,5 a 4,0 US$/MWh.

Para termelétricas a gás natural de ciclo simples no Brasil, Tolmasquim (2005) adota o valor de 564 US$/kW como estimativa para o investimento. A Tabela 21.35 seguinte apresenta os custos da geração térmica a gás natural com ciclo combinado, a partir de três fontes de referência distintas.

Tabela 21.35 – Custos de referência para termelétrica a gás natural de ciclo combinado

Referência	**Capacidade (MW)**	**Custos *overnight* (US$/kW)**	**Custos de investimento (US$/kW)**	**O&M (US$/MWh)**		**LCOE (US$/MWh)**
				Fixo (US$/kW.ano)	**Variável (US$/MWh)**	
Energy Information Administration (EIA)	540	978	-	14,39	3,43	-
International Energy Agency (IEA)	480	1.018	-	-	4,48	85,77
	210	1.419	1.636		5,40	83,85
Electric Power Research Institute (EPRI)*	550	1.060 - 1150	1.275 - 1375	16	2,30	49 - 79

* Projeção para o ano de 2015

No caso brasileiro, para os custos de investimento desta tecnologia, devem-se considerar ainda aspectos como o risco cambial (não existe fabricação de turbina a gás no país) e o custo de capital adicional, devido aos fatores de risco. Por outro lado, o fato de o gás natural ser um combustível bem menos poluente que os outros fósseis, pode tornar essas usinas mais competitivas frente às outras tecnologias.

21.7.4 Térmica Nuclear

De acordo com RICOSTI (2011) [15] o custo de geração de Angra III é de 113,70 US$/MWh, considerando capacidade instalada de 1.345 MW, fator de capacidade de 87% e um custo de investimento de 5.800 US$/kW.

Para a Agência Internacional de Energia (IEA) o custo de geração de Angra III é de 105,29 US$/MWh, considerando uma capacidade instalada de 1.405 MW. Ainda de acordo com a IEA o custo de investimento para Angra III é de 5.813 US$/KW, o custo de descomissionamento de 0,84 US$/MWh, para o custo do ciclo do combustível o valor é de 11.64 US$/MWh e por fim, custo de O&M é de 15,54 US$/MWh.

Tabela 21.36 – Custos de geração das usinas nucleares. (*PROJECTED COSTS OF GENERATING ELECTRICITY* 2010 – IEA)

Country	Technology	Net capacity	Overnight costs[1]	Investment costs[2]		Decommissioning costs		Fuel Cycle costs	O&M costs[3]	LCOE	
				5%	10%	5%	10%			5%	10%
		MWe	USD/kWe	USD/kWe		USD/MWh		USD/MWh	USD/MWh	USD/MWh	
Belgium	EPR-1600	1 600	5 383	6 185	7 117	0.23	0.02	9.33	7.20	**61.06**	**109.14**
Czech Rep.	PWR	1 150	5 858	6 392	6 971	0.22	0.02	9.33	14.74	**69.74**	**115.06**
France*	EPR	1 630	3 860	4 483	5 219	0.05	0.005	9.33	16.00	**56.42**	**92.38**
Germany	PWR	1 600	4 102	4 599	5 022	0.00	0.00	9.33	8.80	**49.97**	**82.64**
Hungary	PWR	1 120	5 198	5 632	6 113	1.77	2.18	8.77	29.79/29.84	**81.65**	**121.62**
Japan	ABWR	1 330	3 009	3 430	3 940	0.13	0.01	9.33	16.50	**49.71**	**76.46**
Korea	OPR-1000	954	1 876	2 098	2 340	0.09	0.01	7.90	10.42	**32.93**	**48.38**
	APR-1400	1 343	1 556	1 751	1 964	0.07	0.01	7.90	8.95	**29.05**	**42.09**
Netherlands	PWR	1 650	5 105	5 709	6 383	0.20	0.02	9.33	13.71	**62.76**	**105.06**
Slovak Rep.	VVER 440/ V213	954	4 261	4 874	5 580	0.16	0.02	9.33	19.35/16.89	**62.59**	**97.92**
Switzerland	PWR	1 600	5 863	6 988	8 334	0.29	0.03	9.33	19.84	**78.24**	**136.50**
	PWR	1 530	4 043	4 758	5 612	0.16	0.01	9.33	15.40	**57.83**	**96.84**
United States	Advanced Gen III+	1 350	3 382	3 814	4 296	0.13	0.01	9.33	12.87	**48.73**	**77.39**
NON-OECD MEMBERS											
Brazil	PWR	1 405	3 798	4 703	5 813	0.84	0.84	11.64	15.54	**65.29**	**105.29**
China	CPR-1000	1 000	1 763	1 946	2 145	0.08	0.01	9.33	7.10	**29.99**	**44.00**
	CPR-1000	1 000	1 748	1 931	2 128	0.08	0.01	9.33	7.04	**29.82**	**43.72**
	AP-1000	1 250	2 302	2 542	2 802	0.10	0.01	9.33	9.28	**36.31**	**54.61**
Russia	VVER-1150	1 070	2 933	3 238	3 574	0.00	0.00	4.00	16.74/16.94	**43.49**	**68.15**
INDUSTRY CONTRIBUTION											
EPRI	APWR. ABWR	1 400	2 970	3 319	3 714	0.12	0.01	9.33	15.80	**48.23**	**72.87**
Eurelectric	EPR-1600	1 600	4 724	5 575	6 592	0.19	0.02	9.33	11.80	**59.93**	**105.84**

*The cost estimate refers to the EPR in Flamanville (EDF data) and is site-specific.

1. Overnight costs include pre-construction (owner's), construction (engineering, procurement and construction) and contingency costs, but not interest during construction (IDC).
2. Investment costs include overnight costs as well as the implied interest during construction (IDC).
3. In cases where two numbers are listed under O&M costs, numbers reflect 5% and 10% discount rates. The numbers differ due to country-specific cost allocation schedules.

2010

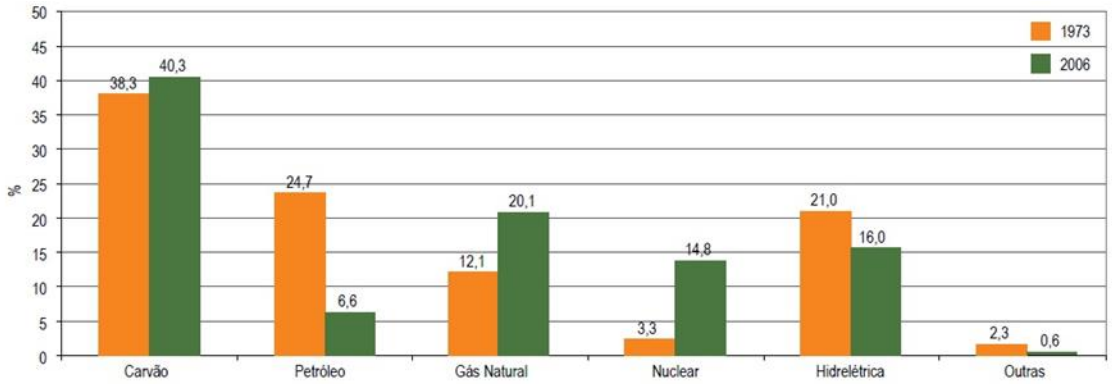
Capítulo 22: Energia Hídrica[22]

22.1 Energia Hídrica

A força da água foi percebida pelo homem desde as antigas civilizações. Há registro de esquemas elaborados cerca dos anos de 2500 a.C. do aproveitamento das correntezas para gerar trabalho, na busca de melhoria da qualidade de vida das civilizações. [1]

No mundo, a participação da geração de eletricidade a partir de usinas hidrelétricas apresentou uma redução nos últimos anos, como mostra a Figura 22.1. Apesar de ser um recurso abundante e renovável, essa tendência explica-se principalmente por dois fatores. Um deles está relacionado à distribuição da água na superfície terrestre. A maior parte da água do planeta encontra-se nos oceanos, porém a energia das ondas e marés ainda não é viável para produção em larga escala. Além disso, o aproveitamento requer acentuados desníveis e/ou grandes vazões, algo que não é encontrado com tanta facilidade. Outro fator diz respeito ao esgotamento das reservas. No Brasil, essa redução representa a necessidade da diversificação da matriz elétrica prevista no planejamento do setor elétrico de forma a aumentar a segurança do abastecimento. [2]

Figura 22.1 – Geração de energia elétrica no mundo por tipo de combustível nos anos de 1973 e 2006 [2]



A relação entre o potencial tecnicamente aproveitável e o recurso total varia de região para região em razão das condições locais e do estágio de conhecimento (nível dos estudos e das investigações). Considerando esses aspectos, o Brasil aparece como detentor do terceiro maior potencial no mundo, perdendo apenas para a China e a Rússia (FIGURA 22.2). [3]

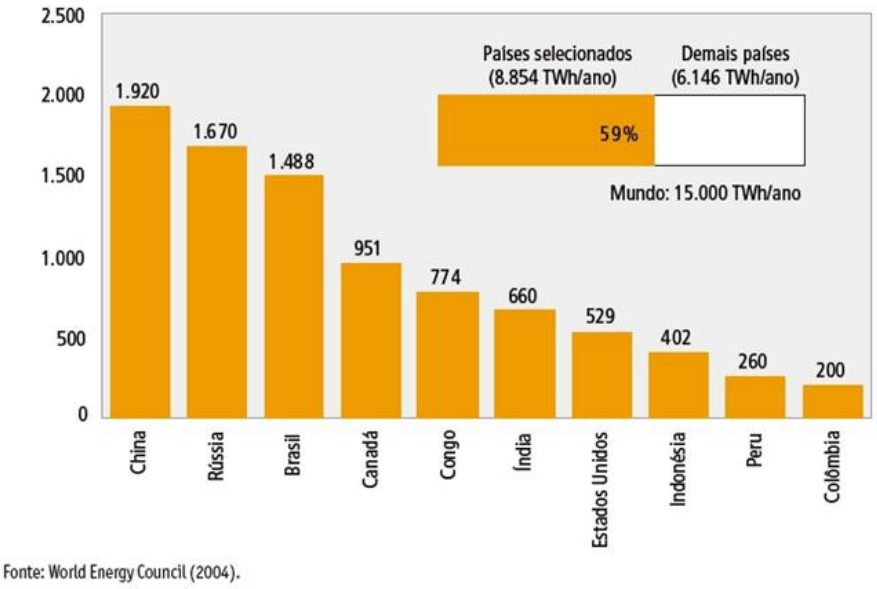
Com respeito a avaliações nacionais do potencial hidrelétrico brasileiro, a última e melhor estimativa disponível do potencial hidrelétrico é, ainda, a mesma que foi utilizada no Plano Decenal de Energia 2006-2015 (PDE 2006-2015) [4]: 261,4 GW. Desse total, 32% correspondem a um potencial pouco conhecido, dito estimado, e 43% estão localizados na região Norte. Considerando as usinas em operação, as usinas em construção e os aproveitamentos cuja concessão já foi outorgada pode-se considerar que cerca de 30% do potencial hidrelétrico brasileiro já está desenvolvido. [3]

É importante destacar que esse valor do potencial hidrelétrico brasileiro reflete as condições de avaliação técnica, econômica e socioambiental adotadas à época em que os estudos foram realizados. Assim, pode-se afirmar que o valor de 261,4 GW constitui uma referência para os estudos de planejamento e não necessariamente o que

[22] Trabalho realizado pela estagiária Carolina, em 2010.

se prevê realizar. Além disso, é fundamental que se intensifiquem os esforços para restabelecer os estudos desse potencial. [3]

Figura 22.2 – Potencial Hidrelétrico Tecnicamente Aproveitável no Mundo (em Twh/ano) [3]



Fonte: World Energy Council (2004).

De acordo com o estudo sobre hidroeletricidade do Plano Nacional de Energia 2030 [5], elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), são notáveis as taxas de aproveitamento da França, Alemanha, Japão, Noruega, Estados Unidos e Suécia, em contraste com as baixas taxas observadas em países da África, Ásia e América do Sul. No Brasil, o aproveitamento do potencial hidráulico é da ordem de 30%. [2]

Neste estudo, será dado destaque aos aproveitamentos hidráulicos por Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), as quais se entendem pelos empreendimentos hidrelétricos cuja potência se encontra entre 1.000 kW e 30.000 kW e cuja área total do reservatório é igual ou inferior a 3,0 km^2. Caso o empreendimento hidrelétrico não atenda à condição de área máxima inundada, ele também poderá ser considerado uma PCH desde que deliberado pela Diretoria da ANEEL, com base em parecer técnico, que contemple, entre outros, aspectos econômicos e socioambientais. [6]

As PCHs são instalações que resultam em menores impactos ambientais e se prestam à geração descentralizada. Este tipo de hidrelétrica é utilizada principalmente em rios de pequeno e médio portes que possuem desníveis significativos durante seu percurso, gerando potência hidráulica suficiente para movimentar as turbinas. [7]

As usinas com potência instalada de até 1.000 kW são denominadas Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) e necessitam apenas de um simples registro para funcionar. Já as PCHs dependem de autorização da ANEEL e devem obedecer a uma série de procedimentos legais e técnicos. [6]

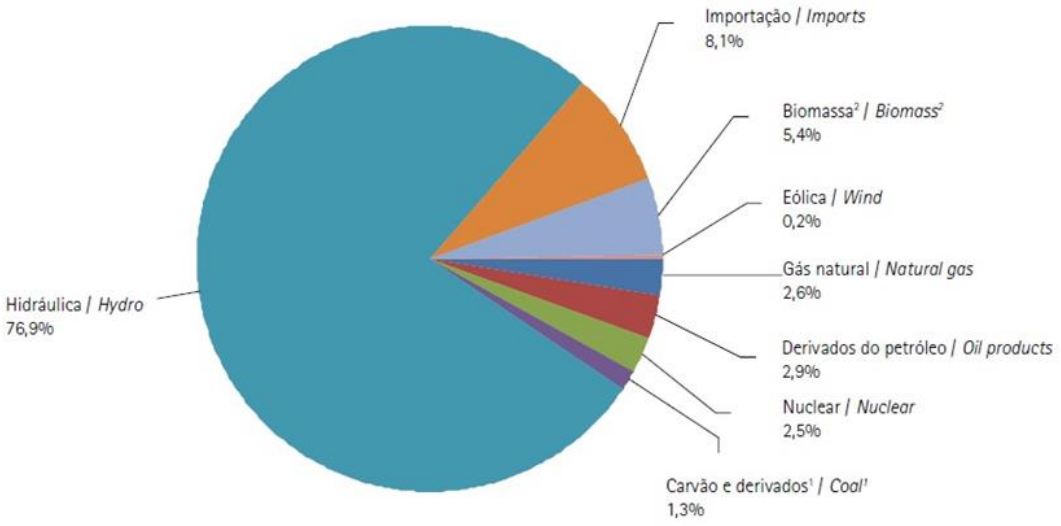
Já as usinas cuja potência excede os 3.000 kW não podem ser caracterizadas como PCHs e sua construção depende de outorga de concessão dada aos agentes interessados em processo de licitação pública. [6]

Informações da *IEA – International Energy Agency*, indicam que PCHs têm sido implantadas e existem boas perspectivas nos países da ex-União Soviética, principalmente na Rússia. A China e a Índia também têm implantado diversas usinas deste porte para atender comunidades isoladas. Contudo, não existe informação consolidada, no âmbito da IEA, sobre a evolução da produção e da capacidade instalada deste tipo de fonte. Conforme a própria agência afirma no relatório *Renewables Information 2003* [8], sobre energia renovável, as informações de pequenas e grandes usinas hidrelétricas não estão desagregadas. [9]

22.1.1 Situação no Brasil

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 466,2 TWh em 2009, resultado 0,7% superior ao de 2008. Permanece como principal a contribuição de centrais de serviço público, com 87,8% da geração total. Nestas, a principal fonte é a energia hidráulica, que apresentou elevação de 4,9% na comparação com 2008, em função do regime hidrológico favorável observado no período. A Figura 22.3 a seguir apresenta a estrutura da oferta interna de eletricidade no Brasil em 2009, na qual se observa que a matriz de geração elétrica brasileira é predominantemente renovável, com uma participação da energia hidráulica igual a 76,9%. [10]

Figura 22.3 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – 2009 [10]



Notas/ Notes:
1 Inclui gás de coqueria / Includes coke gas.
² Biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações / Biomass includes firewood, sugar cane bagasse, black liquor e other wastes.

De acordo com o PDEE 2006-2015 [4], a capacidade instalada em usinas hidrelétricas no Brasil em 31/12/2005, excluindo a parcela paraguaia da Usina de Itaipu, era de 70.961 MW, sendo 2% localizadas nos sistemas isolados da região Norte e menos de 2% em PCHs. [3]

Esse parque gerador compreende mais de 400 instalações, porém grande parte da potência total está concentrada em poucas usinas: apenas 24 hidrelétricas, que têm, cada uma, mais de 1.000 MW instalados, somam mais de 52.000 MW. [3]

A geração por PCHs e CGHs subiu de 2,54% para 2,94% em 2009, na comparação com o ano anterior, como se observa na Tabela 22.1, que apresenta o número de empreendimentos e a potência instalada no ano de 2009. De acordo com o Banco de Informações da Geração (BIG) da ANEEL, em novembro de 2008, existiam em operação 227 CGHs, com potência total de 120 MW e 320 PCHs (2,4 mil MW de potência instalada). [2], [11].

Tabela 22.1 – Empreendimentos de geração de energia elétrica (em operação) em 2009 [11]

Tipo	Número de empreendimentos	Potência (MW)	%
Usina hidrelétrica – UHE*	165	75.484,24	71,01
Pequena central hidrelétrica – PCH e Central geradora hidrelétrica - CGH	663	3.126,13	2,94
Usina termelétrica – UTE	1313	25.081,35	23,59
Central geradora eólica – EOL	36	602,28	0,57
Central geradora fotovoltaica – SOL	1	0,02	0,00
Usina termonuclear – UTN	2	2.007,00	1,89
Total	**2180**	**106.301,02**	**100,00**

Fontes: ANEEL - Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração (SFG)
* Consideradas as máquinas do lado brasileiro da Itaipu Binacional (7.000 MW)
** Não considerada a importação de energia.

A Tabela 22.2 apresenta o acréscimo da capacidade instalada no Brasil no ano de 2009. No total foram outorgados e homologados 3.327,97 MW de potência, por meio de 140 autorizações. A capacidade adicional de usinas geradoras que entraram em operação foi de 3.565,11 MW e somaram-se ainda 126,17 MW resultantes de regularização, repotenciação, reativação e ampliação de usinas existentes, com acréscimo total ao sistema de 3.691,07 MW. O acréscimo da capacidade instalada de PCHs foi de 498,84 MW, representando 13,5% da capacidade total instalada. [11]

Tabela 22.2 – Acréscimo da capacidade instalada em 2009 [11]

Tipo	Unidades Motorizadas (MW)	Regularização, repotenciação, reativação e desativação (MW)	Acréscimo da capacidade instalada (MW)	%
UHE	610,86	-27,65	583,21	15
UTE	2.224,00	101,35	2.325,35	63,0
PCH	463,32	35,52	498,84	13,5
CGH	-	19,95	19,95	0,5
UTN	-	-	-	-
EOL	266,93	-3,00	263,93	7,2
SOL	-	-	-	-
TOTAL	**3.565,11**	**126,17**	**3.691,28**	**100**

Fontes: ANEEL - Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração (SFG)

Em Minas Gerais, a Cemig implantou o Programa Minas PCH, como um esforço para ampliar o parque gerador do Estado. Além de desenvolver projetos de energia de fontes alternativas e de geração distribuída, o Programa pretende alavancar os mercados regionais do Estado. Em abril de 2010 entrou em operação a PCH Pipoca, de 20 MW. Outras nove obras, de 22, 44 ou 55 MW, já estão em fase de construção (Tabela 22.3). [12]

Tabela 22.3 – Empreendimentos da Cemig em 2009 [12]

EMPREENDIMENTOS	POTÊNCIA	PARTICIPAÇÃO CEMIG	INVESTIMENTO R$ MILHÕES ATÉ DEZ. 2009	INÍCIO DE OPERAÇÃO PREVISTO
Usina de Baguari	140 MW	34%	179	1ª UG - 9/9/2009 2ª UG - 26/11/2009 3ª UG - jan./2010 4ª UG - mar./2010
PCHs Dores de Guanhães, Senhora do Porto, Fortuna II e Jacaré	44 MW	49%	10	16 a 20 meses após a emissão da OS
Usina de Santo Antônio	3.150 MW	10%	-	1º sem./2012
PCH Pipoca	20 MW	49%	17	1º sem./2010
PCH Paracambi	25 MW	49%	-	2º sem./2011

22.1.2 Geração de energia

A energia oriunda da força da água, ou seja, hidráulica, se apoia em dois fatores básicos: a altura da queda da água e o volume de água disponível, como se observa abaixo: [1]

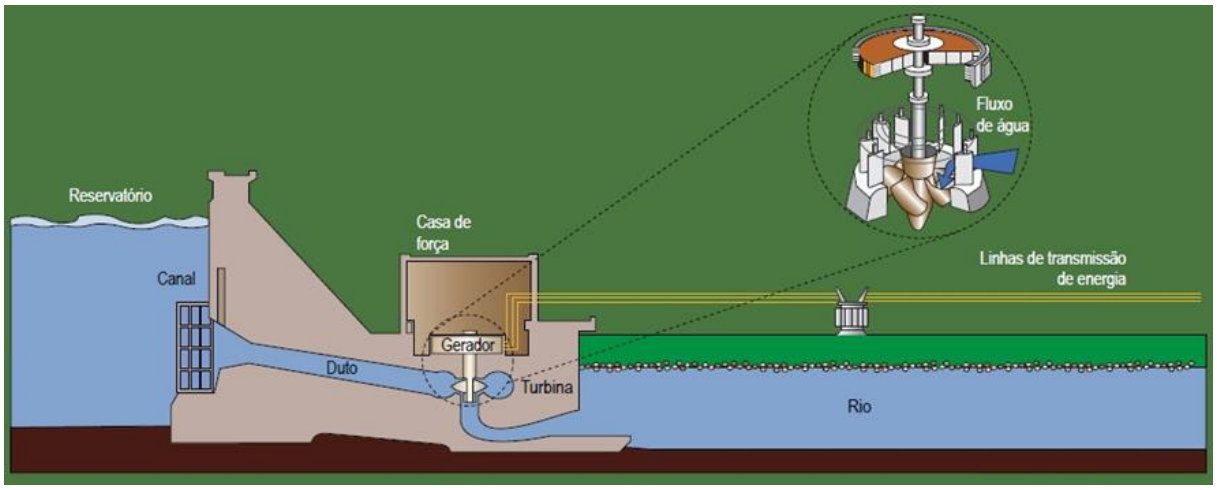
Energia ~ queda x volume

Com esta forma simples de mostrar a produção de energia, também é possível iniciar o complexo processo de aproveitamento da energia disponível. Primeiro, pode-se questionar se apenas houver a dependência de volume, como fazer para ter um volume de água que permita uma produção constante e/ou, pelo menos, regularizada. Esta questão é fácil de supor, uma vez que se sabe que há uma estação em que há chuvas e outra em que há seca. Em um segundo momento, pode-se indagar que, como a queda é fator imperativo na produção de energia, como

se pode interferir para produzir quedas maiores de água. Com essas duas questões básicas, foram construídos os reservatórios de água para fins energéticos, dando origem às centrais hidrelétricas. [1]

A estrutura da usina é composta, basicamente, por barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, que funcionam em conjunto e de maneira integrada (Figura 22.4). [2]

Figura 22.4 - Perfil esquemático de usina hidrelétrica [2]



A barragem tem por objetivo interromper o curso normal do rio e permitir a formação do reservatório. Existem dois tipos de reservatórios: acumulação e fio d'água. Os primeiros, geralmente localizados na cabeceira dos rios, em locais de altas quedas d'água, dado o seu grande porte permitem o acúmulo de grande quantidade de água e funcionam como estoques a serem utilizados em períodos de estiagem. Além disso, como estão localizados a montante das demais hidrelétricas, regulam a vazão da água que irá fluir para elas, de forma a permitir a operação integrada do conjunto de usinas. Outras funções dos reservatórios são: permitir a formação do desnível necessário para a configuração da energia hidráulica e captar água em volume adequado. A matriz de energia elétrica do Brasil se apoia nesta concepção. Com a crescente atenção da sociedade sobre os impactos ambientais advindos da formação destes lagos, há uma tendência que as usinas hidrelétricas tenham seus projetos na configuração de usinas a fio d'água [1], [2].

As unidades a fio d'água geram energia com o fluxo de água do rio, ou seja, pela vazão com mínimo ou nenhum acúmulo do recurso hídrico. Estão próximas à superfície e utilizam turbinas que aproveitam a velocidade do rio para gerar energia. Essas usinas a fio d'água reduzem as áreas de alagamento e não formam reservatórios para estocar a água, de modo que a ausência de reservatório diminua a capacidade de armazenamento de água, única maneira de poupar energia elétrica para os períodos de seca. A barragem de contenção de água tem a finalidade exclusiva de armazenar um volume de água para regularização de algumas horas e produzir as condições mínimas de queda e de vazão para a geração de energia [1], [2].

Cabe ressaltar a possibilidade técnica de unir as duas concepções de construção de usina, ou seja, é perfeitamente possível projetar uma central para fio d'água com a existência de reservatório para armazenamento. Neste caso,

uma vez atingido o limite de armazenamento do lago, a usina passaria a produzir apenas com a água afluente, deixando o lago como reserva estratégica. A usina de Itaipu é um exemplo clássico dessa solução. [1]

Acredita-se que a tendência para as usinas hidrelétricas será de uma exploração de energia para um padrão de média e baixa queda, uma vez que as regiões Norte e Centro-Oeste possuem cerca de 50% do potencial teórico. Estas regiões estão sujeitas às usinas de baixas quedas devido ao seu relevo e às características ambientais. Quando a construção de usinas tende a alterar para o conceito de fio d'água, as condições técnicas utilizadas para definição de máquinas de geração também devem ser revistas e adequadas a esta nova realidade [1].

Os sistemas de captação e adução são formados por túneis, canais ou condutos metálicos que têm a função de levar a água até a casa de força. É nesta instalação que estão as turbinas, formadas por uma série de pás ligadas a um eixo conectado ao gerador [2].

Durante o seu movimento giratório, as turbinas convertem a energia cinética (do movimento da água) em energia elétrica por meio dos geradores que produzirão a eletricidade. Depois de passar pela turbina, a água é restituída ao leito natural do rio pelo canal de fuga. Os principais tipos de turbinas hidráulicas são: Pelton, Kaplan, Francis e Bulbo. Cada turbina é adaptada para funcionar em usinas com determinada faixa de altura de queda e vazão. A turbina tipo Bulbo é usada nas usinas fio d'água por ser indicada para baixas quedas e altas vazões, não exigindo grandes reservatórios [2].

A função do vertedouro é permitir a saída da água sempre que os níveis do reservatório ultrapassam os limites recomendados. Uma das razões para a sua abertura é o excesso de vazão ou de chuva. Outra é a existência de água em quantidade maior que a necessária para o armazenamento ou a geração de energia. Em períodos de chuva, o processo de abertura de vertedouros busca evitar enchentes na região de entorno da usina [2].

Por último, uma subestação é uma instalação elétrica de alta potência, contendo equipamentos para transmissão, distribuição, proteção e controle de energia elétrica. Funciona como ponto de controle e transferência em um sistema de transmissão elétrica, direcionando e controlando o fluxo energético, transformando os níveis de tensão e funcionando como pontos de entrega para consumidores industriais [7].

As principais variáveis utilizadas na classificação de uma usina hidrelétrica são: altura da queda d'água, vazão, capacidade ou potência instalada, tipo de turbina empregada, localização, tipo de barragem e reservatório. Todos são fatores interdependentes. Assim, a altura da queda d'água e a vazão dependem do local de construção e determinarão qual será a capacidade instalada - que, por sua vez, determina o tipo de turbina, barragem e reservatório [2].

A queda d'água, no geral, é definida como de alta, baixa ou média altura. O Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas [13] (CERPCH, da Universidade Federal de Itajubá – Unifei) considera baixa queda uma altura de até 15 metros e alta queda, superior a 150 metros. Mas não há consenso com relação a essas medidas. A potência instalada determina se a usina é de grande ou médio porte ou uma PCH. [2]

Todo processo de implantação de uma PCH é dividido em etapas. A primeira está relacionada com o levantamento das informações do local da instalação, dados topográficos, geográficos e ambientais que respaldem a elaboração do projeto, com foco principal nas características do curso d'água e na bacia hidrográfica [13].

Uma vez detectado um potencial hidrelétrico o próximo passo é verificar se o rio já foi inventariado. Em caso negativo é realizado um estudo de inventário para o detalhamento do potencial do curso d'água e a partição de quedas. Neste momento, o conceito de impacto ambiental é utilizado na tomada de decisão quanto à viabilidade do projeto [13].

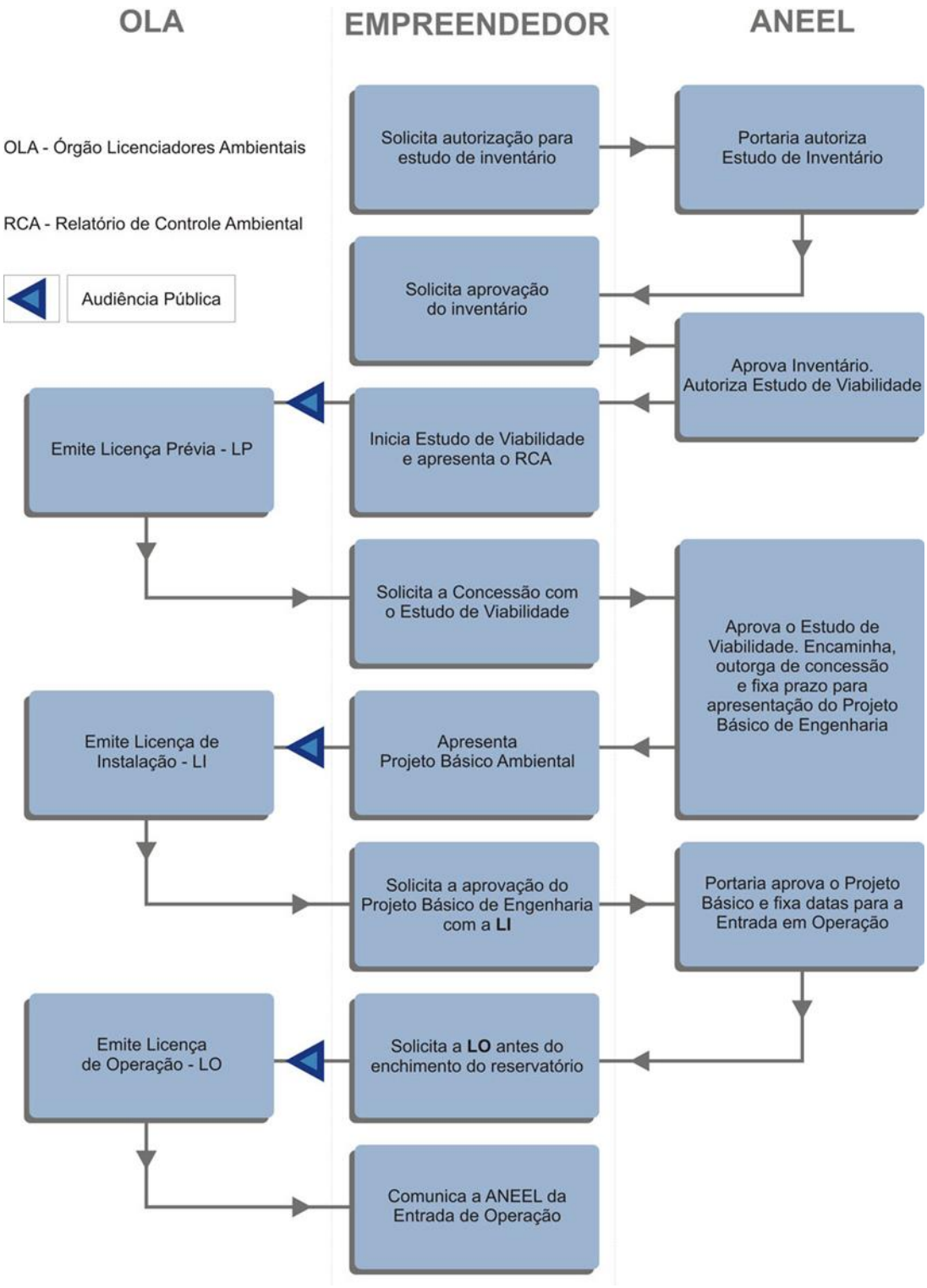
A elaboração dos estudos de inventário é baseada em informações de campo, referenciadas em estudos hidrológicos, energéticos, geológicos, ambientais e de outros usos da água. Esses fatores determinam as principais características dos aproveitamentos hidráulicos [13].

Após a elaboração de inventário hidrelétrico inicia-se o estudo de viabilidade, etapa de definição da concepção global de um dado aproveitamento. Os estudos de viabilidade buscam a otimização técnico-econômica e ambiental, além de avaliarem os benefícios e custos associados [13].

Na sequencia é solicitado o registro ativo junto a ANEEL e elaborado o projeto básico, no qual são detalhadas as obras civis e os equipamentos hidromecânicos e eletromecânicos. O projeto básico é submetido à ANEEL para aprovação, sendo uma condição para obtenção da autorização de exploração de PCH [1], [13].

Na Figura 22.5 é apresentado um fluxograma com as principais etapas da implantação de uma PCH, elaborado pela CERPCH. As etapas acima descritas devem ser encaminhadas à ANEEL para aprovação. As licenças Prévia (LP), de Instalação (LI) e de Operação (LO) são emitidas pelos Órgãos Licenciadores Ambientias (OLA) por meio de audiência pública. [13]

Figura 22.5 - Fluxograma de implantação de uma PCH [13]



Com relação à comercialização de energia de PCHs, pode-se afirmar que esta operação enfrenta alguns obstáculos, principalmente, ainda, em função da grande volatilidade da energia gerada pelas PCHs. Como as PCHs caracterizam-se por operar, quase que em sua maioria, a fio d'água ou, no máximo, com regularização diária de vazões, seu reservatório é classificado como de compensação. Por este motivo, sua geração é variável no tempo. Assim sendo, as PCHs não possuem mecanismos para armazenar o excedente de água disponível nos períodos hidrologicamente favoráveis e utilizá-los nos anos secos, como fazem as usinas hidrelétricas que possuem reservatórios de acumulação ou regularização plurianual, podendo alcançar períodos de 4 a 5 anos de regularização. A variação da geração no tempo compõe a primeira parcela da volatilidade que incide sobre o fluxo de caixa de uma PCH. A palavra volatilidade é aplicada no sentido de instabilidade no decorrer do tempo [14].

Além do risco hidrológico, existem outros riscos associados ao gerador, como riscos de orçamento, ambientais, operacionais, cambial e encargos de transporte. Também há os riscos associados ao mercado, como incertezas no crescimento da demanda, incertezas nos preços de mercado e riscos de crédito e, principalmente, os riscos institucionais referentes à política setorial, regulatórios e tributários [14].

Os principais fabricantes de equipamentos e empresas de engenharia responsáveis pela construção de PCHs instalados no Brasil podem ser encontrados na página *web* do CERPCH [13].

22.1.3 Custos

Uma PCH típica normalmente opera a fio d'água, isto é, o reservatório não permite a regularização do fluxo d´água. Com isso, em ocasiões de estiagem a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas, causando ociosidade. Em outras situações, as vazões são maiores que a capacidade de engolimento das máquinas, permitindo a passagem da água pelo vertedor. Por esse motivo, o custo da energia elétrica produzida pelas PCHs é maior que o de uma usina hidrelétrica de grande porte (UHE - Usina Hidrelétrica de Energia), onde o reservatório pode ser operado de forma a diminuir a ociosidade ou os desperdícios de água. [7]

Na Tabela 22.4 são apresentados os valores calculados para o custo médio de geração de diversas fontes considerando as condições hidrológicas, crítica e média. [5]

Tabela 22.4 – Custo Médio da Geração de Eletricidade (US$/MWh) [5]

Fonte de geração	Condição hidrológica	
	Crítica	Média
Gás natural	56,4	40,4
Carvão nacional	44,4	40,5
Carvão importado	56,8	49,3
Nuclear	51,8	50,1
Resíduos urbanos[1]	22,0	22,0
Biomassa da cana[1]	23,0	23,0
PCH	36,0	36,0
Centrais eólicas	75,0	75,0

1/ Exclusive o custo do combustível.

Os investimentos na geração variam com a fonte utilizada e, portanto, com a estratégia de expansão adotada. Os custos de referência são resumidos na Tabela 22.5. [5]

Os custos de implantação que o empreendedor deve suportar, antes da construção, para obter a autorização de exploração da PCH incluem: [1]

- Estudos de inventário hidrelétrico, compreendendo desde a solicitação de registro a ANEEL, elaboração e entrega dos estudos a esta agência e acompanhamento até a obtenção, ou não, da aprovação dos estudos;

- Estudos de projetos básicos, que consiste na fase seguinte à aprovação dos estudos de inventário e compreende a elaboração e entrega à ANEEL do projeto básico da PCH, no qual são definidas

as características técnicas e produtivas da usina, a preparação do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), a compra das terras que serão afetadas pelo empreendimento, o acompanhamento junto à ANEEL até a obtenção da outorga de autorização para exploração da PCH.

Tabela 22.5 – Custos de Investimento Referenciais na Geração de Energia Elétrica (em US$/kW) [5]

Fonte de geração	US$/kW
Hidrelétrica[1]	1.330
Potencial até 60.900 MW[2]	1.100
Potencial entre 60.900 e 70.900 MW	1.450
Potencial entre 70.900 e 80.900 MW	1.800
Potencial acima de 80.900 MW	2.500
PCH	1.200
Cogeração a partir da biomassa da cana	900
Centrais eólicas	1.200
Resíduos sólidos urbanos	1.250
Centrais nucleares	2.200
Térmicas a carvão mineral	1.600
Térmicas a gás natural	750
Outras usinas[3]	500

1/ valor médio, considerando a instalação de 88.200 MW, conforme indicado nos estudos deste PNE.

2/ inclui a capacidade indicada nos estudos do plano decenal.

3/ instalações nos sistemas isolados remanescentes (predominantemente motores diesel).

Os custos de construção que o empreendedor, já de posse da outorga de autorização da PCH, deve arcar para a construção efetiva da PCH incluem: [1]

- Contratação de uma empresa de engenharia, especializada em projetos de PCH, para elaboração do projeto executivo da usina. Nesse escopo, estão inclusos os projetos de construção civil e toda a interligação elétrica e mecânica da usina. Em alguns casos, o empreendedor amplia o escopo da empresa de engenharia com atividades de gerenciamento da obra e fiscalização na obra e nas fábricas dos fornecedores de equipamentos;

- Compra das turbinas, geradores, comportas, condutos forçados, condutos de adução, ponte rolante, *stop-logs*, grades, transformadores e etc., enfim, todos os equipamentos elétricos e mecânicos especificados no projeto básico da PCH;

- Contratação de uma empresa de construção civil, preferencialmente especializada em usinas hidrelétricas, para execução das obras civis da usina;

- Contratação de uma empresa para montagem dos equipamentos de geração de energia da usina;

- Contratação de uma empresa de comissionamento (partida da usina) para realizar e gerenciar os testes de todos os equipamentos elétricos e mecânicos na fase de preparação da usina para entrada em operação comercial.

Apesar de existir no Brasil um grande potencial para aplicação dessa tecnologia, ela ainda precisa ter seus custos reduzidos. A redução do custo da energia gerada de PCHs passa, necessariamente, pela automação das plantas, seja ela parcial ou total, de maneira que ela seja gerida à distância, reduzindo os custos de

manutenção e operação alocada na unidade. A tendência é que os futuros aproveitamentos hidráulicos demandem por turbinas hidráulicas de alta vazão e baixa queda. [5]

22.1.4 Impactos ambientais e sociais

Quando se tem em conta que dois terços do território nacional estão cobertos por dois biomas de alto interesse do ponto de vista ambiental, como o são a Amazônia e o Cerrado, e que 70% do potencial hidrelétrico brasileiro a aproveitar localizam-se nesses biomas, pode-se antever dificuldades para a expansão da oferta hidrelétrica. Essas dificuldades são ampliadas por uma abordagem que se apoia em uma ótica ultrapassada, pela qual projetos hidrelétricos, por provocarem impactos socioambientais, não podem constituir-se em elementos de integração e inclusão social, e também de preservação dos meios naturais. Muitas áreas no entorno de vários reservatórios já instalados no país estão hoje, em muitos casos, entre as mais bem conservadas, inclusive com relação à biodiversidade. Programas de salvamento da flora e da fauna (e também de sítios arqueológicos), desenvolvidos quando da implantação da barragem, são, muitas vezes, a garantia de conservação de elementos chave do bioma atingido. No aspecto socioeconômico, é emblemático o efeito de projetos mais recentes, em torno dos quais os núcleos urbanos apresentam índices de desenvolvimento humano (IDH) geralmente superiores aos da região na qual se inserem. Por óbvio, o desenvolvimento de qualquer potencial hidrelétrico deve cuidar para que os impactos ambientais provocados sejam mitigados. [5]

Ao tempo em que a expansão da geração hidrelétrica concentra-se em países emergentes com grande potencial a explorar, crescem também, e em escala mundial, as pressões ambientais contra esse tipo de fonte, sobretudo as hidrelétricas de grande porte, cuja potência excede os 10 MW. O principal argumento é o impacto provocado sobre o modo de vida da população, flora e fauna locais, pela formação de grandes lagos ou reservatórios, aumento do nível dos rios ou alterações em seu curso após o represamento. Essas pressões, portanto, afetam diretamente países em desenvolvimento, que demandam energia para seu desenvolvimento em volumes significativos e crescentes, e, em especial, China, Índia e Brasil, pelo importante potencial hidrelétrico de que ainda dispõem. [2], [5]

Na China, essas pressões parecem que, ainda, não produziram consequências maiores, a julgar pela forte expansão hidrelétrica em curso nesse país já há alguns anos. De fato, o governo chinês tem demonstrado a determinação de desenvolver, tanto quanto possível, os recursos hidrelétricos do país. [5]

No Brasil, contudo, vários desafios têm sido colocados para o incremento da expansão hidrelétrica. É emblemático também que os prazos para obtenção das licenças ambientais tornam-se cada vez mais longos. Em parte, isso pode ser atribuído à qualidade questionável de vários estudos ambientais. Mas, é também verdade que a acuidade e a profundidade desses estudos não são garantia de processo mais rápido, ainda que as demandas e os condicionantes derivados do processo de licenciamento ambiental possam estar atendidos. [5]

Preocupações atuais com relação à disputa pela disponibilidade de água, assim como outras questões sociais e ambientais podem frear o desenvolvimento de alguns projetos hídricos. Em locais onde a mudança climática resulta em escassez de água, a necessidade de se adaptar pode resultar em aumento da eficiência no uso da água através de controles e taxações, redução da quantidade usada para irrigação e da negociação de direitos de uso desse recurso. Isso poderia afetar a operação e os custos de plantas hídricas. Além disso, a mudança do clima também pode alterar a vazão dos rios e as atividades que dele dependem como pesca, irrigação, recreação e uso industrial, e fazer com que seja necessária uma adaptação das plantas em operação às novas condições. [15]

Os benefícios da implantação de PCHs são [15]:

- Pequeno impacto ambiental, se comparado com outros aproveitamentos energéticos;
- Possibilidade de operação em cascata de forma integrada com um conjunto de PCHs, que permite um acréscimo na capacidade instalada de usinas existentes, postergando-se, desta forma, a construção de novas usinas;

- Considerando ainda a demanda reprimida existente nos horários de ponta, bem como a recuperação das tarifas nos valores internacionais, as PCHs constituem boa opção de aproveitamento/investimento, principalmente quando se localizam próximo aos consumidores. Estes fatores têm despertado o investidor privado para este tipo de central que, até um passado próximo, não se mostrava viável;

- Fonte de energia renovável e confiável; longa vida útil; o custo da energia gerada é menor que o de usinas termelétricas (UTE) a combustíveis fósseis e de fontes eólicas e solares; é possível encontrar no mercado nacional quase todos os equipamentos e a mão de obra necessária à sua implantação; e, ainda, conta com uma boa aceitação por parte de movimentos sociais e ambientais;

- Menores custos de investimento e tempo de maturação, dispensa do processo de licitação, disponibilidade de linhas de financiamento no mercado, entre outras.

22.1.5 Legislação e incentivos governamentais

As usinas geradoras de energia elétrica que empregam fontes renováveis de energia, como, por exemplo, energia hidráulica em PCHs, têm recebido incentivos financeiros em diversos países pela razão de que elas representam fontes locais de energia, que diminuem a dependência de fontes estrangeiras e propiciam benefícios ambientais. Os incentivos financeiros podem ser ortodoxos, como reduções de impostos e facilidades creditícias, ou heterodoxos, tais como: [3]

- Aquisições compulsórias, pelas empresas concessionárias, da geração destas usinas, pelos "custos evitados";

- Aquisições, para a rede pública, de blocos de energia através de licitações restritas a alguns tipos destas usinas;

- Garantia de tarifas de compra acima dos valores de mercado, para a energia gerada por estas centrais (pagas por todos os consumidores, ou em uma base voluntária, por consumidores dispostos a pagar mais por uma "energia verde").

A Lei no 10.438, promulgada em 26/04/2002, criou o "Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica" - PROINFA, compreendendo a energia eólica, biomassa e PCHs e implantado em duas fases. Inspirada em legislações bem sucedidas da Alemanha e Dinamarca, é um marco no fomento à geração distribuída de eletricidade com fontes renováveis de energia no Brasil [3].

Um dos motivos de estímulo à construção de PCHs é o seu reduzido impacto ambiental, face ao melhor aproveitamento das quedas naturais dos rios, evitando a construção de grandes barragens e, consequentemente, restringindo as áreas inundadas. No entanto, a implantação de usinas hidrelétricas se enquadra como um dos casos em que são necessários estudos de impactos ambientais. Desta forma, faz-se necessário um tratamento abrangente da questão ambiental, em consonância com a Política Nacional de Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 [16], e com os princípios e diretrizes contidos nos documentos setoriais específicos [6].

A Resolução CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001 [17], estabelece os procedimentos e prazos ao licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental, aí incluídas as PCHs [6].

A Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986 [17], estabelece que o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, dentre elas as centrais hidrelétricas acima de 10 MW, dependerá de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental – EIA, e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão competente. A Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997 [17], por sua vez, inclui as barragens e diques nos empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental [6].

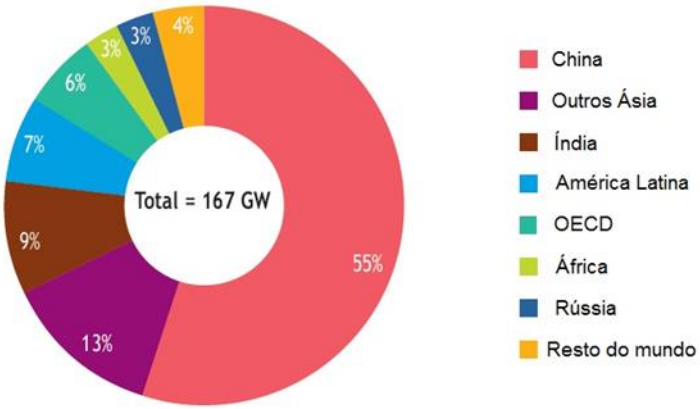
Mais informações sobre a legislação vigente no que diz respeito à implantação e regulamentação de novos projetos de PCHs podem ser encontrados no Guia do Empreendedor de Pequenas Centrais Hidrelétricas [6].

Com os incentivos regulatórios ofertados pelo Governo Federal às PCHs e também a outras fontes para geração descentralizada de energia elétrica, estas se tornaram um grande atrativo para investidores, pois o fluxo de caixa destes empreendimentos se tornou muito mais favorável. Após a regulamentação destes incentivos, o número de interessados em investir na construção de pequenas centrais hidrelétricas, assim como em repotenciar ou reativar PCHs existentes, cresceu consideravelmente [14].

22.1.6 Perspectiva e tendência futura

Após duas décadas de estagnação no cenário mundial, a energia hídrica está sendo retomada. Cerca de 170 GW de potência estão em construção em todo o mundo, implicando em um aumento significativo da geração na próxima década (Figura 22.6). Apesar disso, a parcela da geração de eletricidade por hidrelétricas na geração total deve seguir uma tendência de queda, de 16% a 15% até 2015 e então a 14,5% em 2030, à medida que outras tecnologias se desenvolvem mais rapidamente [15].

Figura 22.6 – Capacidade de geração hídrica em construção por região [15]



Nota: Inclui plantas em construção no ano de 2007.
Fonte: Platt's World Electric Power Plants Database, versão Janeiro 2008

A maior parte desta capacidade está sendo construída em países asiáticos que não fazem parte da OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*), como China, Índia e Vietnã. O potencial remanescente é grande nos outros países não-OECD, os quais estão mudando o foco de suas fontes domésticas de geração de eletricidade, motivados pelo alto custo das fontes fósseis, pelo aumento da demanda por energia, pelo aumento das preocupações no que se refere à poluição e às emissões de gases estufa e pela percepção dos benefícios à segurança energética de um sistema diversificado de geração. [15]

Na América Latina, entretanto, o total de capacidade em construção encontra-se muito abaixo do previsto pelo governo, notadamente no Brasil. Apenas 5 GW estão em construção, enquanto o governo espera que a capacidade instalada, de 76 GW, dobre até o ano de 2030 (segundo o Plano Nacional de Energia 2030 [5]). O *World Energy Outloook 2008* (WEO 2008) [15], elaborado pela IEA, prevê que o País atinja 104 GW até 2030.

O interesse e financiamento de projetos de potência hidráulica em países não-OECD estão crescendo entre os credores internacionais e o setor privado. Nos países OECD, muitos dos melhores locais para aproveitamento já foram explorados e leis ambientais severas restringem novos desenvolvimentos. A maior parte do aumento projetado da capacidade vem de projetos de grande escala no Canadá e na Turquia. Vários outros países OECD estão investindo no desenvolvimento de pequenos e mini projetos hidráulicos [15].

Quanto às PCHs, pode-se observar pela Tabela 22.6 das projeções mundiais para a oferta de energia que há um aumento da eletricidade gerada até o ano de 2030, seguindo a tendência geral de expansão que ocorre com as outras tecnologias, à exceção do carvão convencional [3].

Tabela 22.6 – Projeções Mundiais para Oferta de Energia [3]

	1990	2000	2010	2020	2030
Geração de eletricidade (TWh)	**11.945**	**14.865**	**19.339**	**26.122**	**34.716**
Térmica, dos quais:	7.561	9.299	12.464	18.382	25.803
Carvão convencional, lignita	4.412	5.516	5.532	5.154	4.325
Tecnologia avançada de carvão	0	0	1.582	5.573	11.331
Gás natural	1.688	2418	4.054	6.209	8.542
Biomassa	132	197	260	335	423
Nuclear	2.013	2.622	3.161	3.137	3.498
Hidro, geotérmica	2.246	2.771	3.371	3.971	4.562
Solar	1	2	24	44	51
Eólica	4	23	117	342	544
PCH	120	149	203	245	258
Calor e energia combinados	519	586	1055	1.510	1.568

No Brasil o acréscimo de potencial por região de 2015 a 2030 pode ser analisado na Tabela 22.7. No caso das PCHs, o principal parâmetro considerado na confecção da tabela foi o desenvolvimento de cerca de metade do potencial hoje conhecido, o que significa acrescentar 6.000 MW no período. [3]

A Tabela 22.8 apresenta a evolução nacional da capacidade instalada para diferentes fontes de geração ao longo do período de estudo (2010-2019). Observa-se a priorização das usinas hidrelétricas e das fontes alternativas no horizonte de planejamento, com pequeno acréscimo de potência às fontes que utilizam combustível fóssil neste horizonte. [18]

Com relação às fontes alternativas há aspectos específicos a considerar. Do ponto de vista geográfico, levou-se em conta a distribuição do potencial de cada fonte, conforme definido pelas condições naturais (centrais eólicas e PCH) ou pelas condições de produção e disponibilização do recurso energético (biomassa da cana e resíduos urbanos). Do ponto de vista regulatório, considerou-se o programa específico de incentivo, o PROINFA, cuja lei que o instituiu estabelece critérios gerais para a expansão. Ainda que a segunda fase desse programa careça de regulamentação, o custo médio de geração dessas fontes (com exceção das centrais eólicas) indica uma competitividade tal que, independentemente da regulamentação, pode-se esperar incremento importante na participação dessas alternativas. É o caso, em especial, das centrais de cogeração a partir da biomassa da cana e das PCH. [3]

Tabela 22.7 – Alternativas para a Expansão da Oferta de Energia Elétrica no Período 2015-2030 (em MW) [3]

Fonte	Norte	Nordeste	Sudeste[1]	Sul	Acréscimo máximo	
					período	por ano[2]
Hidrelétricas	44.000	1.100	10.000	6.200	61.300	4.090
Grande porte[3]	44.000	1.100	10.000	6.200	61.300	4.090
Térmicas	0	9.000	15.000	6.000	30.000	2.000
Gás natural	0	4.000	10.000	1.000	15.000	1.000
Nuclear	0	3.000	3.000	0	6.000	400
Carvão	0	2.000[4]	2.000[4]	5.000	9.000	600
Outras	- [5]	0	0	0	- [5]	- [5]
Alternativas	0	3.950	8.000	3.400	15.350	1.025
PCH	0	500	4.000	1.500	6.000	400
Centrais eólicas	0	2.200	0	1.100	3.300	220
Biomassa da cana	0	950	3.300	500	4.750	320
Resíduos urbanos	0	300	700	300	1.300	85
TOTAL	**44.000**	**14.050**	**33.000**	**15.600**	**106.650**	**7.115**

Notas: 1)inclui Centro-Oeste; 2) valor médio; 3) inclui hidrelétricas binacionais; 4) carvão importado; 5) valores numericamente pouco significativos, correspondentes à expansão da carga do sistemas isolados remanescentes (0,2% do consumo nacional).

Tabela 22.8 – Evolução da Capacidade Instalada por Fonte de Geração (MW) [18]

FONTE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Hidro [a]	83.169	85.483	86.295	88.499	89.681	94.656	100.476	104.151	108.598	116.699
Urânio	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412
Gás natural	8.860	9.356	9.856	11.327	11.533	11.533	11.533	11.533	11.533	11.533
Carvão	1.765	2.485	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205
Óleo combustível	3.380	4.820	5.246	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864
Óleo diesel	1.728	1.903	1.703	1.356	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149
Gás de processo	687	687	687	687	687	687	687	687	687	687
Pch	4.043	4.116	4.116	4.516	5.066	5.566	5.816	6.066	6.416	6.966
Biomassa	5.380	6.083	6.321	6.671	7.071	7.421	7.621	7.771	8.121	8.521
Eólica	1.436	1.436	3.241	3.641	4.041	4.441	4.841	5.241	5.641	6.041
Total [b]	**112.455**	**118.375**	**122.676**	**130.774**	**133.305**	**140.935**	**147.605**	**152.080**	**157.628**	**167.078**

Notas: Os valores da tabela indicam a potência instalada em dezembro de cada ano, considerando a motorização das UHE.
(a) Inclui a estimativa de importação da UHE Itaipu não consumida pelo sistema elétrico Paraguaio.
(b) Não considera a autoprodução, que, para os estudos energéticos, é representada como abatimento de carga. A evolução da participação da autoprodução de energia é descrita no Capítulo II.

Fonte: EPE

22.2 Considerações finais

A geração hidrelétrica por PCHs está em fase de expansão no Brasil e no mundo devido ao seu caráter renovável e aos baixos impactos ambientais quando comparada às usinas hidrelétricas de grande porte. Por esse motivo, os custos têm apresentado queda constante, tornando a tecnologia competitiva em muitos locais. Para atrair os investidores, o Governo Federal ofertou diversos incentivos tais como: alteração nos limites de potência instalada para outorga para exploração de PCHs, desconto nos encargos de uso dos sistemas de transmissão e distribuição, limites para o repasse do custo da compra de energia para as tarifas de fornecimento aos consumidores cativos e outros. Tais medidas devem acelerar o processo de expansão e contribuir para que os principais gargalos da tecnologia sejam superados [14].

Referências

Capítulo 1

[1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Guia do Empreendedor: De Pequenas Centrais Hidrelétricas. Disponível em: <http://www.anacebrasil.org.br/portal/index.php/leilao/item/2922-el-ni%C3%B1o-pode-trazer-caos-ao-nordeste-avaliam-especialistas>. Acesso em: 13 de jul. 2016.

[2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo1_F.pdf>. Acesso em: 20 de jul. 2016.

[3] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Chamada no 014/2012 Projeto Estratégico: Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Oriundo de Resíduos e Efluentes Líquidos na Matriz Energética Brasileira. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD-2012-Chamada%20PE%2014_23-07-12.pdf>. Acesso em: 20 de jul. 2016.

[4] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Chamada no 014/2012 Projeto Estratégico: Desenvolvimento De Tecnologia Nacional De Geração Eólica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PD%20Estratégico%20017-2013.pdf>. Acesso em: 14 de jul. 2016.

[5] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Chamada 017/2013 Projeto Estratégico: "Desenvolvimento de Tecnologia Nacional de Geração Eólica". Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PD%20Estrat%C3%A9gico%20017-2013.pdf>. Acesso em 15 de jul. 2016.

[6] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Leilão de Energia Elétrica A-5 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8528&id_area>. Acesso em: 20 jun. 2016.

[7] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Banco de Informações de Geração (BIG) 2016. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 5 de jun. 2016.

[8] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Banco de Informações de Geração (BIG): Matriz Energética do Brasil 2016. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoGeracaoTipo.asp?tipo=7&ger=Outros&principal=E%25F3lica>. Acesso em: 10 de jun. 2016.

[9] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2013. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=66833>. Acesso em: 8 de jul. 2016.

[10] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Boletim Mensal do Biodiesel – Junho 2016. Disponível em: <http://anp.gov.br/?pg=79404&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1457031773073>. Acesso em: 14 de jul. 2016.

[11] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Produção Nacional de Biodiesel Puro – B100 2016. Disponível em: <http://dados.gov.br/dataset/biodiesel-producao>. Acesso

em: 20 de jun. 2016.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLIVA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético 2013. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/arquivos/atlas_portugues_2013.pdf>. Acesso em: 15 de jun. 2016.

[13] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CONSUMIDORES DE ENERGIA. El Ninõ pode trazer caos para o Nordeste 2015. Disponível em: <http://www.anacebrasil.org.br/portal/index.php/leilao/item/2922-el-ni%C3%B1o-pode-trazer-caos-ao-nordeste-avaliam-especialistas>. Acesso em: 14 de jul. 2016.

[14] ASSOCIAÇÃO DOS PLANTADORES DE CANA DO OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Comissão do Senado aprova aumento gradual de mistura de biodiesel 2015. Disponível em: <http://www.canaoeste.com.br/conteudo/comissao-do-senado-aprova-aumento-gradual-de-mistura-de-biodiesel>. Acesso em: 15 de jul. 2016.

[15] BILEK, Amanda. The German biogás experience: opportunities and key experiences for future US development. Great Plain Institute, 2011. Disponível em: <http://acgusa.org/files/The_German_Biogas_Experience-Bilek-Final_Report.pdf>. Acesso em: 10 de jun. 2016.

[16] BRASIL ENERGIA. Anuário de Energia Eólica 2014/2015. Disponível em: <http://brasilenergia.editorabrasilenergia.com/cenarios/eol-2014/flip/files/assets/basic-html/page1.html>. Acesso em: 20 de jun. 2016.

[17] CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Programa Brasileiro de Células a Combustível. Brasília, 2002.

[18] CENTRO DE GEETÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil. Brasília, 2005.

[19] CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Hidrogênio Energético no Brasil: subsídios para políticas de competitividades: 2010–2025. Brasília, 2010-2015.

[20] CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. Evolução da capacidade instalada de energia eólica no Brasil. Disponível em: <http://image.slidesharecdn.com/asenergiassolareelicacasasolar2013-150909225446-lva1-app6892/95/as-energias-solar-e-elica-casasolar-2013-32-638.jpg?cb=1441839881>. Acesso em: 15 de jun. 2016.

[21] CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS. Etanol 2.0: Biocombustível revolucionário que é aposta do Brasil. Disponível em: <http://cnpem.br/etanol-2-0-biocombustivel-revolucionario-que-e-aposta-do-brasil/>. Acesso em: 14 de jun. 2016.

[22] CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. Etanol 2G. Disponível em: <http://www.ctcanavieira.com.br/etanol2g.html>. Acesso em: 19 de jul. 2016.

[23] COMPANHIA ELÉTRICA DE MINAS GERAIS. Alternativas Energéticas: Uma Visão da CEMIG. Belo Horizonte: CEMIG, 2012. p.1-357.

[24] COMPANHIA ELÉTRICA DE MINAS GERAIS. 29º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CEMIG, 2014. p.1-180. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/BEEMG.pdf>. Acesso: 20 de jul. 2016.

[25] CRUZ, J; GUNNAR, M; BARSTOW, S; MOLLISON, D. Green energy and technology, ocean wave energy. Berlin: Springer, 2008.

[26] DÜRRE, P. Biobutanol: an attractive biofuel. Biotechnol Journal, 2007. p.1525-1534.

[27] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Resultados Preliminares 2012. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf>. Acesso em: 15 de jun. 2016.

[28] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. 2º Leilão de Energia Reserva 2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/2%C2%BA%20Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20de%20Reserva%202015/2%C2%BALeil%C3%A3odeEnergiadeReserva.aspx>. Acesso em: 13 de jul. 2016.

[29] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Nacional de Energia 2030. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_3.pdf>. Acesso em: 19 de jul. 2016.

[30] ESTEFEN, F.S. Ocean Energy Development in Brazil. Rio de Janeiro: IPCC, 2015. Disponível em: <http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/rio/ocean_energy_in_brazil-segen_estefen-16_nov2015.pdf>. Acesso em: 14 de jun. 2016.

[31] GEOTHERMAL ENERGY ASSOCIATION. 2015 Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report. Disponível em: <http://geo-energy.org/reports/2015/2015%20Annual%20US%20%20Global%20Geothermal%20Power%20Production%20Report%20Draft%20final.pdf>. Acesso em 16 de jun. 2016.

[32] GERMAN BIOGAS ASSOCIATION. Biogas Segment Statistics 2014/2015. Disponível em: <http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/15-11-19_Biogasindustryfigures_2014-2015_english.pdf>. Acesso em 6 de jul. 2016.

[33] GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. Global Wind Statistics 2015. Disponível em: <http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-PRstats-2015_LR_corrected.pdf>. Acesso em 7 de jul. 2016.

[34] GOMES, A. J. L. Avaliação de recursos geotermais da Bacia do Paraná. Rio de Janeiro, 2009. Tese (Doutorado em Geofísica) – Observatório Nacional.

[35] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook 2012b. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2012_free.pdf>. Acesso em: 8 de jul. 2016.

[36] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA Bioenergy Task 37 - Country Report, Germany. Disponível em: < http://www.iea-biogas.net/country-reports.html>. Acesso em: 19 de jul. 2016.

[37] INTERNATIONAL PARTNERSHIP FOR HYDROGEN AND FUEL CELL IN THE ECONOMY.

Renewable hydrogen report. Disponível em: <http://www.iphe.net/docs/Renew_H2_Introduction.pdf>. Acesso em: 26 de jun. 2016.

[38] INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTUDOS JURÍDICOS DA INFRAESTRUTURA. As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). Disponível em: <http://jornalggn.com.br/noticia/as-pequenas-centrais-hidreletricas-pch%E2%80%99s>. Acesso em: 23 de jun. 2016.

[39] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/perguntas.html>. Acesso em: 14 de jun. 2016.

[40] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (PROGD). Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticas/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030>. Acesso em: 20 de jul. 2016.

[41] PEREIRA, E.B; MARTINS, F.R; ABREU, S.L; RUTHER, R. Brazilian Atlas for Solar Energy. United Nations Environmental Programm. São José dos Campos, 2006.

[42] PEREIRA, W; AZEVEDO, A. Impactos Ambientais em Usinas Eólicas. Itajubá: AGRENER GD, 2013. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnacaclimatica/2013/ag-267.pdf>. Acesso em 16 de jun. 2016.

[43] RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. Ethanol Industry Outlook 2013 – 2016. Disponível em: <http://www.ethanolrfa.org/resources/publications/outlook/>. Acesso em: 22 de jun. 2016.

[44] SOUZA, A.C.C; SILVEIRA, J.L. Hydrogen production utilizing glycerol from renewable feedstocks – the case of Brazil. Renew Sustain Energy Rev 15, 2011. p.1835 – 1850.

[45] SOLARPOWER EUROPE. Global Solar Photovoltaic 2014. Disponível em: <http:www.dw.de/solar-power-on-the-rise/a-18512956>. Acesso em: 16 de jun. 2016.

Capítulo 2

[1] Livro BIOENERGIA cadeia produtiva e co-produtos em Minas Gerais, 2009.

[2] Livro ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS: UMA VISÃO CEMIG, 2012.

[3] Livro Anuário Brasileiro das INDÚSTRIAS DE BIOMASSA E ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013/2014.

[4] Livro Rede nacional de biomassa para energia, RENABIO, 2009.

[5] http://www.ibge.com.br/cidadesat/xtras/uf.php?lang=&coduf=31&search=minas-gerais.

[6] http://www.painelflorestal.com.br/

[7] http://silviminas.com.br/principal/quem-somos/institucional/

[8] http://www.sindifer.com.br/ambiental/energia_biomassa/eucalipto.php

[9] http://www.epe.gov.br/Estudos

[10] http://www.mma.gov.br/florestas

[11] http://www.ciflorestas.com.br

[12] http://abibbrasil.wix.com/briquete#

[13] http://www.brasilbiomassa.com.br/atlas

Capítulo 3

[1] ABAL, Associação Brasileira do Alumínio. Preço da sucata. Disponível em: <http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/preco-da-sucata/>. Acesso em: 11 ago. 2015.

[2] ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2015.

[3] ABNT NBR 10004, Norma brasileira, Resíduos Sólidos – Classificação. Disponível em: <http://www.ccs.ufrj.br/images/biosseguranca/CLASSIFICACAO_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_NBR_10004_ABNT.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2015.

[4] AGROLINK. Gaseificar biomassa para eletricidade pode ser bem melhor do que queimá-la em caldeira mais turbina. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/colunistas/gaseificar-biomassa-para-eletricidade-pode-se---_6924.html>. Acesso em: 01 set. 2015.

[5] BUENO, Cris. Energia que vem do lixo. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/energia-vem-lixo-11-02-08.htm>. Acesso em: 28 abr. 2015.

[6] CAMPOS, Eliana. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. Centro de Desenvolvimento Sustentável Universidade de Brasília. Universidade de Brasília. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v17n2/a06v17n2.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2015.

[7] CAMPELLO, Laura. Análise da Viabilidade do Aproveitamento do Aproveitamento Energético do Lixo em Belo Horizonte. Acesso em: 5 mai. 2015.

[8] CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. Política Nacional de Resíduos Sólidos – Agora é lei. Disponível em: <http://cempre.org.br/busca/pol%C3%ADtica%20nacional>. Acesso em: 19 ago. 2015.

[9] COOPAMA – Cooperativa Popular Amigos do Meio Ambiente. O lixo e o meio ambiente – Panorama internacional. Disponível em: <http://www.coopama.com/crbst_18.html>. Acesso em: 28 abr. 2015.

[10] COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Alternativas Energéticas Uma visão Cemig. Acesso em: 29 abr. 2015.

[11] COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Balanço Energético de Minas Gerais. Acesso em: 18 mai. 2015.

[12] CLICK CIÊNCIA. Energia que vem do lixo. Disponível em: <http://www.clickciencia.ufscar.br/portal/edicao21/materia6_detalhe.php>. Acesso em: 24 abr. 2015.

[13] DIAS, David. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. São Paulo (SP), Brasil. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v17n3/v17n3a09>. Acesso em: 16 abr. 2015.

[14] EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Inventário energético dos resíduos sólidos urbanos. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2018%20-%20%20Invent%C3%A1rio%20Energ%C3%A9tico%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos%20Urbanos.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2015.

[15] EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Leilão de energia A-5 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/default.aspx?CategoriaID=6928>. Acesso em: 1 de jun. 2015.

[16] GLOBO.COM. Saiba como os diferentes tipos de plástico são reciclados. Disponível em: <http://g1.globo.com/sao-paulo/sao-paulo-mais-limpa/noticia/2012/05/saiba-como-os-diferentes-tipos-de-plastico-sao-reciclados.html>. Acesso em: 11 ago. 2015.

[17] GLOBO.COM. Energia a partir do lixo eleva potencial elétrico, mas não descarta hidrelétricas. Disponível em: <http://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/noticia/2014/09/energia-partir-do-lixo-eleva-potencial-eletrico-mas-nao-descarta-hidreleticas.html>. Acesso em: 22 abr. 2015.

[18] HENRIQUES, Rachel, Geração de energia com resíduos sólidos urbanos: Análise de custo benefício. Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/v_en/Mesa4/10.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2015.

[19] IBGE. IBGE cidades – Minas Gerais. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang&coduf=31&search=minas-gerais>. Acesso em: 06 abr. 2015.

[20] IBGE. Projeção da População. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 09 abr. 2015.

[21] INFOESCOLA. Classificação e Tipos de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.infoescola.com/ecologia/residuos-solidos/>. Acesso em: 8 mai. 2015.

[22] UNIVERSITY OF OREGON. Calculating Growth Rates. Disponível em: <http://pages.uoregon.edu/rgp/PPPM613/class8a.htm>. Acesso em: 13 abr.2015.

[23] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano nacional de resíduos sólidos. Brasília, fevereiro de 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/E99F974D/Doc_PNRS_consultaspublicas1.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2015.

[24] MNCR – Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis. Depois de muita luta, Minas Gerais sai na frente e diz não à Incineração. Disponível em: <http://www.mncr.org.br/noticias/blog-sudeste/depois-de-muita-luta-minas-gerais-sai-na-frente-e-diz-nao-a-incineracao>. Acesso em: 13 mai. 2015.

[25] REICHERT, Geraldo. Aproveitamento energético dos resíduos. Acesso em: 01 set. 2015.

[26] PAVAN, Margareth. Geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos: Avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil. Programa de pós-graduação. Universidade de São Paulo. Acesso em: 26 mai. 2015.

[27] TANGRI, Niel. Waste Incineration: A Dying Technology. Disponível em: <http://www.rachel.org/files/document/Waste_Incineration_A_Dying_Technology.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2015.

[28] TECHOJE. Análise da Viabilidade do Aproveitamento Energético do Lixo em Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/1115>. Acesso em: 5 mai. 2015.

[29] YIN, Roberto K. Estudo de caso: planejamento e métodos. Disponível em <https://saudeglobaldotorg1.files.wordpress.com/2014/02/yin-metodologia_da_pesquisa_estudo_de_caso_yin.pdf>. Acesso em: 16 set. 2015.

[30] WASTE & RESOURCES ACTION PROGRAMME. Acesso em: 16 abr. 2015.

Capítulo 4

[1] BEB - **Balanço Energético da Bahia, 2013.** Secretaria de Infraestrutura. Coordenação de Desenvolvimento Energético. Bahia - Balanço energético 2013: série 1996-2012. Salvador: CODEN, 2013. 126p. il. tab., graf.

[2] BEEMG – BALANÇO ENERGÉTICO DE MINAS GERAIS. **Consumo Energético por setor de atividades,** 2013. Disponível em < http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/BEEMG.pdf>. Acesso em 04 de mar, 2015.

[3] BERJ - **Balanço Energético do Estado do Rio de Janeiro, 2012.** Disponível em: http://www.riocapitaldaenergia.rj.gov.br/Publico/MostrarArquivo.aspx?C=ScrpLtIdJ7Q%3D>. Acesso em: 6 de maio, 2015.

[4] BESP – **Balanço Energético do Estado de São Paulo,** 2012. Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/386.pdf.>. Acesso em: 6 de maio, 2015.

[5] BORGES, Thiago de Oliveira. – **Relação Economia e Energia no Mato Grosso do Sul,** 2007. Disponível em: < http://fisica.uems.br/curso/tcc/tcc2007/tcc_thiago.pdf>. Acesso em: 5 de maio, 2015.

[6] CEPAL – COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE – **Brasil utiliza mais energia para produzir do que outros países da América Latina,** 2013. Disponível em: <http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2013-01-15/brasil-utiliza-mais-energia-para-produzir-do-que-outros-paises-do-continente-diz-cepal>. Acesso em: 6 de maio, 2015.

[7] CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – **A importância do setor de transporte,** 2012. Acesso em: 8 de abril, 2015.

[8] EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – **Plano Nacional de Energia 2030,** 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf>. Acesso em: 7 de maio, de 2015.

[9] EUROSTAT – **Energy intensity of the economy**, 2013. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&plugin=1&language=en&pcode=tsdec360>. Acesso em: 6 mai. de 2015.

[10] FJP – FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **População e séries históricas do PIB de Minas Gerais,** 1995 a 2012. Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/produtos-e-servicos1/2745-produto-interno-bruto-de-minas-gerais-pib-2>. Acesso em: 04 de mar. 2015.

[11] GOLDENBERG, J. e L. D Villanueva. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. São Paulo: Edusp, 2003.

[12] IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores econômicos do PIB de Minas Gerais,** 1995 a 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/pib/defaultcnt.shtm>. Acesso em: 02 de mar. 2015.

[13] IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – **Energy consumption per capita and energy intensity for selected countries, 1990 – 2012,** 2014. Disponível em: <https://www.iea.org/newsroomandevents/graphics/2014-08-19-energy-consumption-per-capita-and-energy-intensity.html>. Acesso em: 6 de maio, 2015.

[14] IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – **Aquecimento do mercado mundial e estratégia das empresas aumentam exportações**, 2005. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=949:reportagens-materias&Itemid=39>. Acesso em: 7 mai. 2015.

[15] M. DE LUCA, MÁRCIA MARTINS – **Demonstração do Valor Adicionado –** 2ª Edição**,** Ed Atlas, Rio de Janeiro, 1998.

[16] SEINFRA – SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DA BAHIA – **Balanço Energético da Bahia; Intensidade Energética,** 2013. p28.

[17] SILVA, F, A,. **Análise da evolução dos indicadores de intensidade energética do gênero Química do Brasil, 1996 a 2005**, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://tede.ufabc.edu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=16>. Acesso em: 02 mar. 2015.

Capítulo 5

ENERGIA SOLAR

[1] Disponível em: <http://cienciasetecnologia.com/energia-solar-brasil/>. Acesso em: 4 jun. 2014.

[2] Atlas brasileiro de energia solar ano de 2006 arquivo encontrado nas referencias bibliográficas fornecidas pelo Cláudio.

[3] Disponível em: <http://www.pucrs.br/cbsolar/energia.php>. Acesso em: 3 jun. 2014.

[4] MARLA. Painéis Fotovoltaicos. Disponível em: <http://www.marla.pt/paineis-fotovoltaicos.php>. Acesso em: 12 de set. 2014.

[5] AES ELETROPAULO. Mini e Microgeração. Disponível em: <https://www.aeseletropaulo.com.br/padroes-e-normas-tecnicas/geradores-de-energia/Paginas/Mini-e-Micro-Gera%C3%A7%C3%A3o.aspx>. Acesso em: 15 de set. 2014.

[6] ENERGIAS RENOVÁVEIS. Conceitos - Tecnologias: Paineis Fotovoltaicos. Disponível em: <http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=43&ID_area=8&ID_sub_area=26>. Acesso em: 15 de set. 2014.

[7] IEA. PV Roadmap. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv_roadmap.pdf>. Acesso em: 15 set. 2014.

[8] PUC RS. Cb Solar – Energia. Disponível em: <http://www.pucrs.br/cbsolar/energia.php>. Acesso em: 3 jun. 2014.

[9] JORNAL DA UNICAMP. IQ testa filmes finos para células solares de 3G. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/marco2012/ju519pdf/pagina04.pdf>. Acesso em: 2 de jun. 2014.

[10] LINS, J.- INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Pesquisadores brasileiros criam célula solar de filmes finos. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=pesquisadores-brasileiros-criam-celula-solar-filmes-finos&id=010115120207>. Acesso em: 3 jun. 2014. Júlia Lins/UFBA - 07/02/2012.

[11] WIKIPEDIA. Célula Solar. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_solar>. Acesso em: 03 jun. 2014.

[12] OLIVEIRA, H. E. Tecnologia fotovoltaica em filmes finos Películas Delgadas. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/monografia_hallyson.pdf>. Acesso em: 04 de jun. 2014.

[13] Disponível em: <http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/tecnologia-de-celulas-y-modulos-fotovoltaicos/Materiales/unidad-3/skinless_view>.

[14] Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,28525,en.html>. Acesso em: 4 de jun. 2014.

[15] Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_solar_polim%C3%A9rica>. Acesso em: 4 de jun. 2014.

[16] Disponível em: <http://www.cozcyt.gob.mx/eek/articulos/fotoceldas.pdf >. Acesso em: 5 de jun. 2014.

[17] TENDÊNCIAS 21. Nuevas células solares orgânicas transparentes y más eficientes. Disponível em <http://www.tendencias21.net/Nuevas-celulas-solares-organicas-transparentes-y-mas-eficientes_a25862.html>. Acesso em 5 de jun. 2014.

[18] http://www.agenciasinc.es/Noticias/La-eficiencia-de-los-polimeros-organicos-en-celdas-fotovoltaicas-se-acerca-a-la-del-silicio.

[19] WIKIPEDIA. Solar Technology. Disponível em: <http://es.wikipedia.org/wiki/SMA_Solar_Technology_AG>.

[20] CENTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO RENATO ARCHER. Células Fotovoltáicas Orgânicas do CTI Renato Archer são destaque em publicação da Fapesp. Disponível em < http://www.cti.gov.br/noticias/897-28-05-2013-c%C3%A9lulas-fotovolt%C3%A1icas-org%C3%A2nicas-do-cti-renato-archer-s%C3%A3o-destaque-em-publica%C3%A7%C3%A3o-da-fapesp.html>. Acesso em: 6 jun. 2014.

[21] CARTILHA ENERGIAS RENOVÁVEIS

ENERGIA NUCLEAR

[22] BRASIL ESCOLA. **Como funciona uma usina nuclear?** Disponível em: <http://www.brasilescola.com/fisica/como-funciona-uma-usina-nuclear.htm>. Acesso em: 23 de set. 2014.

[23] CARTILHAS. **ENERGIAS RENOVÁVEIS**. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/arquivos/cartilhas/cartilhas-energias-renovaveis-renovaveis.pdf >. Acesso em: 3 de jul. de 2014

[24] CIÊNCIA HOJE**. Ensaio 299**. Disponível em: < http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2012/299/pdf_aberto/ensaio299.pdf >. Acesso em: 7 de jul. 2014.

[25] ENERGIA PLANETA. **Energia Nuclear**. Disponível em: <http://energiaplaneta-davi.blogspot.com.br/2011/08/energia-nuclear.html>. Acesso em: 23 de set. 2011.

[26] ENSAIO FÍSICA - **Energia nuclear: ontem e hoje.**

[27] EXAME. **Fusão nuclear**. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/uso-da-fusao-nuclear-para-produzir-energia-esta-mais-proximo.>. Acesso em: 9 de jul. 2014.

[28] GLOBO. **Operação da usina angra 3 e adiada diz presidente da Eletronuclear.** Disponível em: <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2013/06/operacao-da-usina-angra-3-e-adiada-diz-presidente-da-eletronuclear.html >. Acesso em 4 de jul. de 2014.

[29] MUNDO EDUCAÇÃO. **Fissão Nuclear**. Disponível em: <http://www.mundoeducacao.com/quimica/fissao-nuclear.htm>. Acesso em: 23 de set. 2014.

[30] REVISTA DO BNDES, Rio De Janeiro, V. 11, N. 22, P. 21-49, DEZ. 2004.

[31] U.S ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Market Trends: Electricity demand** Disponível em: <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/MT_electric.cfm#nucelec?src=Nuclear-b1>. Acesso em: 7 de jul. 2014.

ENERGIA GEOTÉRMICA

[32] BCDJMENERGIA BLOGSPOT. **Energia geotérmica.** 2009. Disponível em: <http://bcdjmenergia.blogspot.com.br/2009/08/energia-geotermica.html>. Acesso em: 29 set. 2014.

[33] BRASIL ESCOLA. **Energia Geotérmica**. Disponível em: <http://www.brasilescola.com/geografia/energia-geotermica-1.htm>. Acesso em: 10 jul. 2014

[34] CONHEÇA ENERGIA GEOTÉRMICA BLOGSPOT. **Energia Geotérmica no Mundo. 2013**. Disponível em: <http://conhecaenergiageotermica.blogspot.com.br/2013/09/energia-geotermica-no-mundo.html>. Acesso em: 29 set. 2014.

[35] EHOW. **Fatores econômicos da energia geotérmica.** 2014. Disponível em: <http://www.ehow.com.br/fatores-economicos-energia-geotermica-lista_240856/>. Acesso em: 29 set. 2014

[36] ENERGIAS ALTERNATIVAS**. Energias renováveis – Energia Geotérmica.** Disponível em: <http://energiasalternativas.webnode.com.pt/energias-renovaveis/energia-geotermica/>. Acesso em: 10 jul. 2014.

[37] EXPLICATORIUM. **Temas Energia Geotérmica.** Disponível em: <http://www.explicatorium.com/TEMAS-Energia-geotermica.php >. Acesso em: 9 jul. 2014.

[38] INFORMATION FOR ACTION. **Energy Geothermal**. Disponível em: <http://www.informaction.org/newIFA/index.php?main=po_energy_geothermal&lang=portuguese&countries=menua_countries&s=Energy>. Acesso em: 10 jul. 2014.

[39] SCHLUMBERGER EXCELLENCE IN EDUCATION DEVELOPMENT (SEED). **Fontes Alternativas de Energia: Geotérmica.** 2014. Disponível em: <http://www.planetseed.com/pt-br/relatedarticle/fontes-alternativas-de-energia-geotermica>. Acesso em: 29 set. 2014.

[40] SHANESHAFFENRIN. **Geothermal**. Disponível em: <http://www.shaneshafferinc.com/res_geothermal.html>. Acesso em: 02 out. 2014.

[41] THE GEYSERS. **Inside a geothermal power plant**. 2014. Disponível em: <http://www.geysers.com/inside.aspx>. Acesso em: 02 out. 2014.

[42] WIKIPEDIA. **Geothermie Prinzip**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Geothermie_Prinzip.svg>. Acesso em: 02 out. 2014.

[43] WORLD ENERGY, **Cost of Technologies**. Disponível em <http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WEC_J1143_CostofTECHNOLOGIES_021013_WEB_Final.pdf>. Acesso em: 13 out. 2014.

ENERGIA OCEÂNICA

[44] AG SOLVE. **Conversão de energia térmica oceânica. Empresas começam a explorar a energia dos oceanos**. Disponível em: <http://www.agsolve.com.br/noticias/conversao-de-energia-termica-oceanica-empresas-comecam-a-explorar-a-energia-dos-oceanos>. Acesso em: 28 de jul. 2014.

[45] APAMBIENTE. **Guias manuais-ondas lowres.** Disponível em: <http://www.apambiente.pt/_zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias%20e%20Manuais/ondas_lowres.pdf.>. Acesso em: 23 de jul. 2014.

[46] CDN 4 SUSTENTATOR**. Image 0042**. Disponível em: <http://cdn4.sustentator.com/blog-es/files/2010/06/clip_image0042.jpg >. Acesso em: 24 de jul. 2014.

[47] CIMM. **Primeira usina de energia osmótica do mundo.** <http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/6119-primeira-usina-de-energia-osmtica-do-mundo>. Acesso em: 24 de jul. 2014.

[48] COGEDIR-BRASIL. **Turbinas**. Disponível em: <http://www.cogedir-brasil.com/pdf/turbinas.pdf>. Acesso em: 11 de jul. 2014.

[49] COM CIÊNCIA. **Correntes**. Disponível em: <http://comciencia.br/comciencia/?section=3&noticia=688&print=true>. Acesso em: 15 de jul. 2014.

[50] DICYT. **Escócia usará correntes marítimas para gerar eletricidade**. Disponível em: <http://www.dicyt.com/noticia/escocia-usara-correntes-maritimas-para-gerar-eletricidade>. Acesso em: 14 de jul. 2014.

[51] ECYCLE. **Usina explora a diferença de temperatura das águas do oceano para gerar energia.** Disponível em: <http://ecycle.com.br/component/content/article/35-atitude/1644-usina-explora-a-diferenca-de-temperatura-das-aguas-do-oceano-pra-gerar-energia.html>. Acesso em: 16 jul. 2014.

[52] ENERGIAS ALTERNATIVA-CELPC. **Energia Marémotriz**. Disponível em: <http://energiasalternativa-celpc.blogspot.com.br/2008/09/energia-maremotriz_12.html>. Acesso em: 11 de jul. 2014.

[53] COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (a). **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig.** Belo Horizonte: Cemig, 2012.

[54] GAMANCIO. **Tipo de Energias Renováveis – Energia das Ondas**. Disponível em: <http://gamancio.blogspot.com.br/>. Acesso em: 23 de jul. 2014.

[55] GESTÃO AMBIENTAL. **Fonte de energia dos oceanos.** Disponível em: <http://gestaoambientalfcago.blogspot.com.br/2009/11/fontes-de-energia-do-oceanos.html>.

[56] GIZMAG. **Otec Plant Lockheed Martin Reignwood China.** Disponível em: <http://www.gizmag.com/otec-plant-lockheed-martin-reignwood-china/27164/pictures#2>. Acesso em: 28 de jul. 2014.

[57] HAMMONS, T. J. **"Tidal Power". Proceedings of the IEEE.** Vol. 8, Issue 3, pp. 419-433, 1993.

[58] LEWIS, A., ESTEFEN, S., HUCKERBY, J., *et al.*, 2011. **Ocean Energy**. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. IPCC. O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer e C. V. Stechow, Eds. Cambridge and New York, p.50.

[59] NOTÍCIAS AMBIENTE BRASIL. **As fontes de energia do oceano.** Disponível em: <http://noticias.ambientebrasil.com.br/artigos/2007/09/17/33478-as-fontes-de-energia-do-oceano.html>. Acesso em: 03 out. 2014.

[60] PESCA. **Notícia.** Disponível em: <http://www.pesca.sp.gov.br/noticia.php?id_not=8813>. Acesso em: 15 jul. 2014.

[61] PHYS. **Partnership world largest otec china**. Disponível em <http://phys.org/news/2013-04-partnership-world-largest-otec-china.html>. Acesso em: 16 de jul. 2014.

[62] PORTAL ENERGIA. **Energia ondas e mares, vantagens e desvantagens.** <http://www.portal-energia.com/energia-ondas-e-mares-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 23 jul. 2014.

[63] POWER TECHNOLOGY. **The world five biggest tidal power plants.** Disponível em: <http://www.power-technology.com/features/featuretidal-giants---the-worlds-five-biggest-tidal-power-plants-4211218/>. Acesso em: 07 out. 2014.

[64] PPE UFRJ. **Avaliação Do Potencial De Energias Oceânicas No Brasil**. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/fernanda_fleming.pdf>. Acesso em: 6 de out. 2014.

[65] RESPOSTAS SUSTENTÁVEIS**. Otec energia que vem do oceano**. Disponível em: <http://www.respostassustentaveis.com.br/blog/otec-energia-que-vem-do-oceano/>. Acesso em: 16 de jul. 2014.

[66] SISTEMAS UNICAMP. **A Geração De Energia Maremotriz E Suas Oportunidades No Brasil.** Disponível em: <http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/index.php/be310/article/viewFile/337/265>. Acesso em: 6 out. 2014.

[67] WAVEC. **Breve historial sobre a actividade desenvolvida em Portugal.** Disponível em: <http://www.wavec.org/content/files/Breve_historial_sobre_a_actividade_desenvolvida_em_Portugal.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2014.

[68] WAVEGEN, 2009. **Wave power**. United Kingdom: Voith Hydro Wavegen Disponível em: <http://www.wavegen.co.uk/pdf/wavegen-brochure-sept-2009.pdf>. Acesso em: 07 out. de 2014.
WIKIENERGIA. **Aprovada maior central de correntes de mar.** Disponível em: <http://wikienergia.com/~edp/index.php?title=Aprovada_maior_central_de_correntes_de_mar%C3%A9_da_Europa_na_Esc%C3%B3cia>. Acesso em: 23 de jul. 2014

[69] WIKIPEDIA. **Energia das correntes marítimas**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_das_correntes_mar%C3%ADtimas>. Acesso em: 14 jul. 2014.

[70] WIKIPEDIA. **Energia das ondas**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_das_ondas#cite_note-9>. Acesso em: 23 jul. 2014.

[71] WORLD ENERGY. **Cost of technologies**. Disponível em: <http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WEC_J1143_CostofTECHNOLOGIES_021013_WEB_Final.pdf >. Acesso em: 08 out. 2014.

ENERGIA HIDRÁULICA

[72] ANEEL. **Energia Hidráulica**. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/04-Energia_Hidraulica(2).pdf>. Acesso em: 12 de ago. 2014.

[73] CARTILHAS ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Hidráulica.** Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/arquivos/cartilhas/cartilhas-energias-renovaveis-hidraulica.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2014.

[74] CERPCH. **Hidráulica.** Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/hidraulica.php>. Acesso em: 25 jul. 2014.

[75] ELS, R.V. **Sustentabilidade de projetos de implantação de aproveitamentos hidroenergéticos em comunidades tradicionais na Amazônia: casos do Suriname e Amapá.** 2008. 242 f. Tese (Doutorado em Ciências Mecânicas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

[76] FEG UNESPE. **Energias Renováveis. Roda d'água.** Disponível em: <http://www.feg.unesp.br/energiasrenovaveis/rodadagua.htm>. Acesso em: 07 de ago. 2014.

[77] IGUAÇU ENERGIA. **Turbina**. Disponível em: <http://www.ienergia.com.br/ti/turbina.aspx>. Acesso em: 11 de ago. 2014.

[78] MARTINS, A. M. **Turbinas para pequenas centrais hidrelétricas – PCHs** Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica. UFPA, 2013.

[79] SEMPRE SUSTENTÁVEL. **Bombas de água.** Disponível em: <http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/bombasdeagua/bomba-de-agua-model2.htm>. Acesso em: 12 de ago. 2014.

[80] UNCU. **Probaron una turbina hidrocinetica para producir energía renovable**. Disponível em: <http://www.uncu.edu.ar/probaron-una-turbina-hidrocinetica-para-producir-energia-renovable>. Acesso em: 07 de ago. 2014.

[81] WIKIPEDIA. **Carneiro Hidráulico**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Carneiro_hidr%C3%A1ulico>. Acesso em: 07 de ago. 2014.

ENERGIA EÓLICA

[82] AMBIENTE. **How stuff Works. Energia Eólica.** Disponível em: <http://ambiente.hsw.uol.com.br/energia-eolica1.htm>. Acesso em: 25 ago. 2014**.**

[83] APREN. ASSOCIAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Principais tendências e estatísticas 1º semestre de 2014.** Disponível em: < http://www.apren.pt/pt/destaques/a-industria-eolica-offshore-europeia/principais-tendencias-e-estatisticas-1/semestre-de-2014/>. Acesso em: 18 de ago. 2014.

[84] APREN. **Ewea offshorestats**. Disponível em: <http://www.apren.pt/fotos/gca/ewea_offshorestats_h12014_1405328597.pdf> . Acesso em: 18 ago. 2014.

[85] BDM. Handle. Disponível em: <http://bdm.unb.br/handle/10483/7648 >. Acesso em: 13 ago. 2014.

[86] BIOESPAÇO. Energia Eólica. Disponível em: <http://www.bioespaco.com/produtos/energia-eolica/>. Acesso em: 25 ago. 2014.

[87] BRASIL ENERGIA. **Eólicas avançam para o mercado livre.** Disponível em: <http://brasilenergia.editorabrasilenergia.com/news/renovaveis/eolica/2014/03/eolicas-avancam-para-o-mercado-livre-449604.html>.

[88] CENTRO DE ENERGÍAS RENOVABLES. **Eólica Onshore.** Disponível em <http://cer.gob.cl/tecnologias/eolica/on-shore/>**.** Acesso em: 20 ago. 2014**.**

[89] CERPCH. **Cartilhas de energias renováveis Eólica**. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/arquivos/cartilhas/cartilhas-energias-renovaveis-eolica.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2014.

[90] CRESESB. **Content-Energia Eólica.** Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/content.php>. Acesso em: 25 ago. 2014.

EÓLICA

[91] EWEA. **European offshore statistics 1st half**. Disponível em: <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/European_offshore_statistics_1st-half_2014.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2014.

[92] FIEC. **Energia eólica**. Disponível em: <http://www.fiec.org.br/artigos/energia/energia_eolica.htm>. Acesso em: 12 ago. 2014.

[93] JORNAL DA ENERGIA. **Capacidade eólica em operação atinge 3.428 em junho.** Disponível em: <http://jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=17622&id_tipo=3&id_secao=9&id_pai=2&titulo_info=Capacidade eólica em operação atinge 3.428MW em junho >. Acesso em: 20 de ago. 2014.

[94] MEDEIROS, V**. Slides Fumec Energia Eólica**. Belo Horizonte, 2014.

[95] NOTICIAS TERRA. **Especialistas preveem expansão do setor de energia eólica offshore.** Disponível em: <http://noticias.terra.com.br/ciencia/especialistas-preveem-expansao-do-setor-de-energia-eolica-offshore,9e3e3a314f017410VgnCLD200000b2bf46d0RCRD.html>. Acesso em: 14 ago. 2014.

[96] OLIVEIRA, W.,. **Hidrelétrica e a importância do epia/rima em empreendimentos para produção de energia com desenvolvimento sustentável.** Piracicaba: UNIMEP, 2006.

[97] PORTAL ENERGIA. **Alstom vai fornecer 19 aero geradores eco 122 para CPFL.** Disponível em: <http://www.portal-energia.com/alstom-vai-fornecer-19-aerogeradores-eco-122-para-cpfl-renovaveis-brazil/>. Acesso em: 13 de ago. 2014.

[98] PORTAL ENERGIA. **Gamesa revela o seu novo aerogerador offshore G132-5-0.** Disponível em:<http://www.portal-energia.com/gamesa-revela-o-seu-novo-aerogerador-offshore-g132-5-0-mw/>. Acesso em: 25 ago. 2014.

[99] PORTAL ENERGIA. Gamesa revela seu novo aerogerador offshore. Disponível em: <http://www.portal-energia.com/gamesa-revela-o-seu-novo-aerogerador-offshore-g132-5-0-mw/ >. Acesso em: 12 ago. 2014.

[100] SOLENERG. **Viabilidade Da Captação Da Energia Eólica Nos Oceanos (Captação Offshore)** Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/monografiaJoseRafael.pdf>. Acesso em: 13 de ago. 2014.

PETRÓLEO

[101] AEROMAGAZINE. **Preços em pauta**. Disponível em: <http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/precos-em-pauta_810.html>. Acesso em: 2 dez. 2014.

[102] ANP. **Resumo quarto combustíveis - Preços.** Disponível em: <http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Quatro_Combustiveis.asp>. Acesso em: 2 dez. 2014.

[103] BAPTISTA. Disponível em: <http://www.baptista.com.br/news/Texto.aspx?Texto=1062>. Acesso em: 28 ago. 2014.

[104] BIOMS**. Produtos**. Disponível em: <http://www.bioms.com.br/produtos.html >. Acesso em 26 nov. 2014.

[105] TECNICO DE PETRÓLEO**. Processamento primário**. Disponível em: <http://www.tecnicodepetroleo.ufpr.br/apostilas/engenheiro_do_petroleo/processamento_primario.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2014.

[106] BOOKS GOOGLE. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=gckkcTH5zqUC&pg=PA269&lpg=PA269&dq=aplica%C3%A7%C3%A3o+do+tight+oil&source=bl&ots=W-t73NY6Km&sig=sSqKU6SMOBf15rwFzfp3xpsmbEQ&hl=en&sa=X&ei=ZuAFVKa5FtCmggShrYKgBw&redir_esc=y#v=onepage&q=aplica%C3%A7%C3%A3o%20do%20tight%20oil&f=false>. Acesso em: 28 ago. 2014.

[107] BR. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ – Querosene.** Disponível em: <http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/f884ae8043a79f5ebdf2bfecc2d0136c/fispq-avi-querosene-jeta1.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 24 nov. 2014.

[108] BR. **Óleo Diesel**. Disponível em: <http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/paralocomotivas/oleodiesel/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwN_gwA3AyNzby8f42BfAwMTc_2CbEdFAFTaI3A!>. Acesso em: 03 nov. 2014.

[109] BRASIL. **Índices de produtividade reduzem custos de extração.** Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2014/08/indices-de-produtividade-reduzem-custos-de-extracao>. Acesso em: 03 nov. 2014.

[110] MUNDO EDUCAÇÃO. Disponível em: <http://www.mundoeducacao.com/quimica/destilacao-petroleo.htm>.

[111] CGGE. **Biocombustíveis aeronáuticos**: Progressos e desafios - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília, n. 8, 2010.

[112] GLOBO. **ANP Publica Resolução Com Regras Para Explorar Óleo E Gás Não Convencional No Brasil.** Disponível em: <http://oglobo.globo.com/economia/anp-publica-resolucao-com-regras-para-explorar-oleo-gas-nao-convencional-no-brasil-12274931> . Acesso em: 26 ago. 2014.

[113] http://econbrowser.com/wp-content/uploads/2014/04/oil_prod_apr_14.png

[114] http://en.wikipedia.org/wiki/Tight_oil.>. Acesso em: 26 ago. 2014.

[115] http://geofisicabrasil.com/artigos/41-opiniao/6337-e-preciso-tirar-a-petrobras-do-palanque.html. Acesso em: 29 ago. 2014.

[116] http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909_1.pdf

[117] http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013_Executive_Summary_Portuguese.pdf

[118] http://www.packersplus.com/media/articles/BRIC%20Brasil%20article%20eVersion.pdf. Acesso em: 28 ago. 2014.

[119] http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/souzafr.pdf . Acesso em: 26 ago. 2014.

[120] http://www.resilience.org/stories/2014-04-30/oil-and-gasoline-prices-many-still-missing-the-big-picture

[121] IBP (b). **Preço Médio do Petróleo no Mercado SPOT (US$ por barril).** Disponível em: <http://200.189.102.61/SIEE/dashboard/PrecoInternacionalDoPetroleoNoMercadoSpot>. Acesso em: 2 dez. 2014.

[122] IBP(a) **ANP/SRP, conforme a Portaria ANP n.º 28/99 - Produção de derivados de petróleo (boe/d).** Disponível em: <http://200.189.102.61/SIEE/dashboard/MainDashboard/save/ >. Acesso em: 02 dez. 2014.

[123] INFOESCOLA. **Querosene**. Disponível em: <http://www.infoescola.com/quimica/querosene/>. Acesso em: 24 nov. 2014.

[124] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. ***Environmental report 2010*.** ICAO, 2010.

[125] O TEMPO. **EPE Prevê Ciclo De Baixa Do Petróleo Até Fim Da Década.** Disponível em: <http://www.otempo.com.br/capa/brasil/epe-prev%C3%AA-ciclo-de-baixa-do-petr%C3%B3leo-at%C3%A9-fim-da-d%C3%A9cada-1.901213>. Acesso em: 28 ago. 2014.

[126] PETROBRAS**. Áreas de atuação – Refino.** Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/refino/>. Acesso em: 20 de out. 2014.

[127] QUE CONCEITO. **Gasolina**. Disponível <http://queconceito.com.br/gasolina>. Acesso em: 19 nov. 2014.

[128] RESILIENCE. ***Oil and gasoline prices many still missing the big picture***. Dsiponível em: <http://www.resilience.org/stories/2014-04-30/oil-and-gasoline-prices-many-still-missing-the-big-picture>. Acesso em: 26 nov. 2014.

[129] RINBER**. Diesel**. Disponível em:< http://www.rinber.com.br/diesel.html>. Acesso em: 3 nov. 2014

[130] SCIELO. **Química Sem Fronteiras: o desafio da energia.** Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422013001000010&script=sci_arttext>. Acesso em: 28 ago. 2014.

[131] SUSTAINABLE WAY FOR ALTERNATIVE FUELS AND ENERGY IN AVIATION. **Final report** *2011*. France: SWAFEA, 2011.

[132] TRANSPOL. **Óleo Diesel.** Disponível <http://www.transpol.com.br/oleo_diesel.htm>. Acesso em: 20 de out. 2014.

[133] WIKIPEDIA. Querosene. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Querosene>. Acesso em: 24 nov. 2014.

GÁS NATURAL

[134] ABRACE. **Cartilha gás**. Disponível em: <http://www.abrace.org.br/public/downloads/cartilha_gas.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2014.

[135] CAPP. **Shale Gas**. Disponível em: <www.capp.ca/canadaIndustry/naturalGas/ShaleGas/Pages>. Acesso em: 25 de Nov. 2014.

[136] EIA (a). **Worldshalegas**. Disponível em: <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>. Acesso em: 25 nov. 2014.

[137] EIA (b). **Today Energy**. Disponível em: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=18951>. Acesso em: 17 dez. 2014.

[138] Geofísica Brasil. **EPE prevê ciclo de baixa de petróleo até fim da década.** Disponível em: <http://geofisicabrasil.com/noticias/204-clipping/6428-epe-preve-ciclo-de-baixa-do-petroleo-ate-fim-da-decada.html>. Aceso em: 25 de Nov. 2014.

[139] INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (IBP) (a). **Série Histórica por país – produção de gás natural**. Disponível em: <http://200.189.102.61/SIEE/dashboard/SerieHistoricaPorPaisProducaoDeGasNatural>. Acesso em: 25 nov. 2014.

[140] INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (IBP) (b). **Preço do gás natural.** Disponível em: <http://200.189.102.61/SIEE/dashboard/PrecoDoGasNatural>. Acesso em: 25 nov. 2014.

[141] PPE. **Production teses.** Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/souzafr.pdf>. Acesso em: 20 de out. 2014.

[142] SCIELO. **Química Sem Fronteiras: O Desafio Da Energia**. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v36n10/10.pdf>. Acesso em: 25 de Nov. 2014.

CARVÃO

[143] MMA. **Fontes convencionais de energia – Carvão.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/energia/fontes-convencionais-de-energia/carvao>. Acesso em: 3 dez. 2014.

[144] PPE. **Tese**. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/souzafr.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2014.

[145] Centro de Excelência em Pesquisa sobre Armazenamento de Carbono (CEPAC). **Mapa Brasileiro de Tecnologias Limpas de Carvão (CCT). - Workshop "Produção regional de combustíveis limpos a partir do carvão no RS" 2009.** Disponível em: <http://www.pucrs.br/cepac/download/WorkshopCarvao/Workshop_Roadmap.pps>. Acesso em: 3 dez. 2014.

[146] CGEE. **Estudo diz que Brasil é o único detentor de grandes reservas que não se encontra entre os maiores produtores; gargalos estão em RH, infraestrutura e regulação** Disponível em: <http://www.cgee.org.br/noticias/viewBoletim.php?in_news=834&boletim=40>. Acesso em: 3 dez. 2014.

[147] CEPA. **Carvão - 1999.** Disponível em: <http://cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo1A/carvao.html>. Acesso em: 10 dez. 2014.

[148] WORLD ASSOCIATION. **Coal Facts 2014.** Disponível em: < http://www.carvaomineral.com.br/interna_palestras_eventos.php?codigo=81&tipo=P>. Acesso em: 10 dez. 2014.

BIOMASSA

[149] MMA. **Energias renováveis - Biomassa.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>. Acesso em: 02 dez. 2014.

Capítulo 6

Capítulo 7

[1] CAMADA DE OZONIO. Efeito Estufa e Aquecimento Global. 2014. Disponível em:<http://camada-de-ozonio.info/efeito-estufa-e-aquecimento-global.html>.

[2] COGEDIR, Turbina de Marés. 2014. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/137924119/Cogedir-Mares>.

[3] CUNHA, Jorge Fernandes e ONOFREI, Roxana. INPI. Energia Oceânica. 2014. Disponível em: <http://www.marcasepatentes.pt/files/collections/pt_PT/1/300/302/Energia%20Oce%C3%A2nica.pdf>.

[4] ESTEFEN, Segen F. Energia Renovável nos Oceanos - ESTEFEN, et. al. 2011 & Atividades no Brasil. 2012. FEBRABAN, São Paulo, Brasil. Disponível em: <http://www.febraban.org.br/7Rof7SWg6qmyvwJcFwF7I0aSDf9jyV/sitefebraban/Apresenta%E7%E3o%20-%20Segen.pdf>.

[5] FISCHER, Andrea. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE CORRENTES OCEÂNICAS NO LITORAL SUL DO BRASIL. 2014. Porto Alegre, Brasil.

[6] LUNA, Denise. Brasil quer gerar energia elétrica a partir de ondas do mar. 2013. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2013/11/1372423-brasil-quer-gerar-energia-eletrica-a-partir-das-ondas-do-mar.shtml>.

[7] MOTA, Cláudio. País começa a explorar energia limpa das ondas. 2012. Disponível em:<http://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/pais-comeca-explorar-energia-limpa-das-ondas-5122838>.

[8] OPEN WAVE ENERGY. Universities working with Ocean Energy. 2014. Disponível em: <http://openwaveenergy.org/open-wave-energy-project-resource-and-industry/universities-working-with-ocean-energy.html>.

[9] S. Estefen, Lewis, A., J. Huckerby, W. Musial, T. Pontes, J. Torres-Martinez, 2011: Ocean Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow(eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[10] SARMENTO, António J. N. A. e CRUZ, João M. B. P.. Energia das ondas : Introdução aos Aspectos Tecnológicos, Económicos e Ambientais. 2004. Alfragide, Portugal.

[11] SUA PESQUISA. Aquecimento Global. 2014. Disponível em: <http://www.suapesquisa.com/geografia/aquecimento_global.htm>.

Capítulo 8

[1] BCDJMENERGIA BLOGSPOT. **Energia geotérmica.** 2009. Disponível em: <http://bcdjmenergia.blogspot.com.br/2009/08/energia-geotermica.html>. Acesso em: 27 ago. 2014.

[2] CONHEÇA ENERGIA GEOTÉRMICA BLOGSPOT. **Energia Geotérmica no Mundo.** 2013. Disponível em: <http://conhecaenergiageotermica.blogspot.com.br/2013/09/energia-geotermica-no-mundo.html>. Acesso em: 27 ago. 2014.

[3] EHOW. **Fatores econômicos da energia geotérmica.** 2014. Disponível em: <http://www.ehow.com.br/fatores-economicos-energia-geotermica-lista_240856/>. Acesso em: 27 ago. 2014.

[4] ENERGIAS ALTERNATIVAS WEBNODE**. Energias renováveis – Energia Geotérmica.** 2014. Disponível em: <http://energiasalternativas.webnode.com.pt/energias-renovaveis/energia-geotermica/>. Acesso em: 27 ago. 2014.

[5] ENERGIAS EVOLUTIVAS BLOGSPOT. **Energia Geotérmica.** 2014. Disponível em: <http://energiasevolutivas.blogspot.com.br/p/energia-geotermica.html>. Acesso em: 27 ago. 2014.

[6] EVOLUÇÃO ENERGIA EÓLICA WORDPRESS. **Custo e Rentabilidade.** 2014. Disponível em: <http://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/custo/>. Acesso em: 27 ago. 2014.

[7] GEOHOTSPOT**. Energia Geotérmica**. 2012. Disponível em: <http://geohotspot.wordpress.com/category/energia-geotermica/>. Acesso em: 27 ago. 2014.

[8] IBGE. **Atlas nacional do Brasil Milton Campos/IBGE.** 2010. Disponível em

<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv47603.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2014.

[9] INFORMATION FOR ACTION. **Energia Geotérmica.** 2014. Disponível em: <http://www.informaction.org/newIFA/index.php?main=po_energy_geothermal&lang=portuguese&countries=menua_countries&s=Energy>. Acesso em: 27 ago. 2014.

[10] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewable Energy Essentials: Geothermal.** 2010. Disponível em <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Geothermal_Essentials.pdf>. Acesso em: 15 set. 2014.

[11] MARIANO, G. **ROCHAS ÍGNEAS OU MAGMÁTICAS.** 2014. Disponível em <http://gmariano.com.br/i-magma.htm>. Acesso em: 15 set. 2014.

[12] MUFFLER, P. and CATALDI, R., 1978. **Methods for regional assessment of geothermal resources.** Geothermics ,7, 53—89.

[13] NICHOLSON, K., 1993. *Geothermal Fluids*. Springer Verlag, Berlin, XVIII—264 pp.

[14] SCHLUMBERGER EXCELLENCE IN EDUCATION DEVELOPMENT (SEED). **Fontes Alternativas de Energia: Geotérmica.** 2014. Disponível em: <http://www.planetseed.com/pt-br/relatedarticle/fontes-alternativas-de-energia-geotermica>. Acesso em: 27 ago. 2014.

[15] THE GEYSERS. **Inside a geothermal power plant.** 2014. Disponível em: <http://www.geysers.com/inside.aspx>. Acesso em: 27 ago. 2014.

[16] US DEPARTMENT OF ENERGY. **Geothermal FAQS.** 2014. Disponível em <http://energy.gov/eere/geothermal/geothermal-faqs>. Acesso em: 27 ago. 2014.

Capítulo 9

[1] ABNT NBR 9648. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=79679>. Acesso em: 23 mai. 2014.

[2] Fundação Estadual do Meio Ambiente. Orientações básicas para operação de estações de tratamento de esgoto / Fundação Estadual do Meio Ambiente. — Belo Horizonte: FEAM, 2006. 52p; il.

[3] Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ (CESA/UFRJ). Disponível em: <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/site/pt-br/ute/>. Acesso em: 13 jun. 2014.

[4] Sigma – Tratamento de águas. Disponível em: <http://www.sigma.ind.br/produtos/desarenadores>. Acesso em: 13 jun. 2014.

[5] Wikipedia – Biogás. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A1s>. Acesso em: 26 mai. 2014.

[6] Wikipedia – Biodigestor Anaeróbico. Disponível em:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Biodigestor_anaer%C3%B3bico>. Acesso em: 26 mai. 2014.

[7] Centro Nacional de Referencia em Pequenas Centrais Hidroelétricas (CNRPCH). Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/biodigestor.php>. Acesso em: 13 jun. 2014.

[8] SAMAE - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. Disponível em: <http://www.samaepomerode.com.br/index.php?pg=1042>. Acesso em: 13 jun. 2014.

[9] Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ (CESA/UFRJ). Disponível em: <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/site/pt-br/reator-uasb/>. Acesso em: 13 jun. 2014.

[10] Professor Carlos Fernandes de Medeiros Filho – Universidade Federal de Campina Grande. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/UASB01.html>. Acesso em: 24 jun. 2014.

[11] Costa, David Freire da. – Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto / David Freire da Costa; orientador José Goldemberg. São Paulo, 2006. 194p.: Il.; 30cm.

[12] ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade.

[13] Manual para aproveitamento do biogás: volume dois, efluentes urbanos. ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2010. 77p.

[14] Schulz, Daniel - Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/motores4t_etapas.html>. Acesso em: 26 jun. 2014.

[15] Menezes, Ernani do Livramento – O uso de turbinas a gás para geração de energia elétrica em plataformas. Centro Universitário da Zona Oeste. 48p.

[16] Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica – IBGE. 2008. 219p.

[17] Bernadette Araujo, Maria. Projeção da População Municipal de Minas Gerais 2009-2020. Fundação João Pinheiro. Belo Horizonte, 2009. 13p.

[18] Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2011. Página 34, Tabela 17.

[19] COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais.

[20] CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais.

Capítulo 10

[1] ITAUPU BINACIONAL. Centro internacional com ênfase em biogás é instalado em Foz. Disponível em: < http://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/centro-internacional-com-enfase-em-biogas-e-instalado-em-foz>.

[2] PORTAL ENERGIA, ENERGIAS RENOVÁVEIS. Carvão produz calor sem combustão e sem CO_2. Disponível em: <http://www.portal-energia.com/carvao-produz-calor-sem-combustao-e-sem-co2/>.

[3] GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL. Companhia Riograndense de Mineração propõe pesquisa para gaseificação do carvão de Candiota. Disponível em: <http://www.rs.gov.br/noticias/1/118652/Companhia-Riograndense-de-Mineracao-propoe-pesquisa-para-gaseificacao-do-carvao-de-Candiota>.

[4] CERPCH. Turbina Hidro cinética - Turbinas Convencionais. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/hidrocinetica.php>.

[5] SUA PESQUISA. Energia das Mares. Disponível em: <http://www.suapesquisa.com/energia/energia_mares.htm>.

[6] TRIBUNA DO CEARA. Usina de Ondas do Ceará deve ficar 100% até o fim de 2013. Disponível em: <http://tribunadoceara.uol.com.br/noticias/ceara/usina-de-ondas-do-ceara-deve-ficar-100-ate-o-fim-de-2013/>.

[7] GAZETA RUSSA. Gazprom assina parceria com Halliburton para exploração de petróleo não convencional. Disponível em: <http://gazetarussa.com.br/economia/2013/08/15/gazprom_assina_parceria_com_halliburton_para_exploracao_de_petroleo__21091.html>.

[8] PT JORNAL. Inaugurada a maior Central de Energia Solar concentrada do Mundo. Disponível em: <http://www.ptjornal.com/2013032014824/cronicas/carlos-sanches/inaugurada-a-maior-central-de-energia-solar-concentrada-do-mundo.html>.

[9] PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRICA UNIVERDADE DE MINAS GERAIS. Energia fotovoltaica. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/~selenios/Geracao/EEE024-2013_3.pdf>.

[10] ISTOE. Energia que vem das algas. Disponível em: <http://www.istoe.com.br/reportagens/311157_ENERGIA+QUE+VEM+DAS+ALGAS>.

Capítulo 11

[1] TOLMASQUIM, M.; *As origens da Crise Energética Brasileira* ; Ambiente & Sociedade – Ano III, 2000.

[2] Balanço Energético Nacional 2012; Empresa de Pesquisa Energética – EPE; Ministério de Minas e Energia, 2012.

[3] LORA, E. E. S. e VENTURINI, O. J. ; *Biocombustíveis*; Volume 1; Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2012.

[4] SILVA, C. H. F.; *Alternativas Energéticas - Uma visão Cemig*; Companhia Energética de Minas Gerais- CEMIG, Belo Horizonte, 2012.

[5] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *Resíduos sólidos: classificação – NBR 10004*. São Paulo, 2004.

[6] *Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos*; ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais; São Paulo, 2013.

[7] Site Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 20 set. 2013.

[8] Plano Nacional de Energia 2030; EPE [Empresa de Pesquisa Energética]; Rio de Janeiro: EPE, 2007. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 20 set. 2013.

[9] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 8419 – Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos; São Paulo, 1992.

[10] KLEIN, C.; NOVOA, R. S. A.; OGLE, S. ; SMITH, K. A. ; ROCHETTE, P. ; WHIRTH, T. C. WALSH, M. ; WILLIAMS, S. A. IPCC. *Intergovernamental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventoris. Volume 4: Agriculture, forestry and other land use;* Published by Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japão, 2006a.

[11] FIGUEIREDO, N. J. V. ; *Utilização do Biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás – estudo de caso* ; Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007.

[12] SILVA, T. R.; *Metodologia para a determinação teórica da potência ótima conseguida a partir da combustão do biogás gerado em aterro sanitário: Estudo de caso do aterro sanitário de Itajubá-MG*; Universidade Federal de Itajubá, MG, 2012.

[13] Plano Municipal de Resíduos Sólidos; Secretaria de Infraestrutura, Prefeitura Municipal de Betim; 2010.

[14] *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Guia para inventários nacionais de gases de efeito estufa. Módulo 6: Lixo*. Volume 2: Livro de trabalho de 1996.

[15] Ministério de Minas e Energia; *Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande*; Empresa de Pesquisa Energética; Rio de Janeiro, 2008.

[16] Projeção da População Municipal – Minas Gerais 2009-2020; Fundação João Pinheiro, MG, 2008.

[17] Consumo Mensal de Energia; Empresa de Pesquisa Energética; 2013. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 11 nov. 2013.

[18] Ministério do Desenvolvimento da Indústria e Comércio Exterior; *Projetos de Mecanismo Limpo no Brasil: Um levantamento de perspectivas com o Setor Produtivo* ; 2006.

Capítulo 12

[1] AREVA. **ATMEA 1**. Disponível em: <http://www.atmea-

sas.com/ATMEA/liblocal/docs/ATMEA1%20Brochure.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2013.

[2] AVANÇO DA TECNOLOGIA NUCLEAR. Disponível em: < http://pasqual.no.comunidades.net/index.php?pagina=1156347823_01>. Acesso em: 03 dez. 2013.

[3] BAIMA, Cesar. **Reator multipropósito vai garantir independência nuclear do Brasil**. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/ciencia/reator-multiproposito-vai-garantir-independencia-nuclear-do-brasil-3903559>. Acesso em: 19 out. 2013.

[4] BARATA, Ronald. **Nióbio, a importância do metal: como o Brasil é super-espoliado**. Disponível em: <http://www.correiocidadania.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=8666:submanchete260713&catid=72:imagens-rolantes>. Acesso em: 08, nov. 2013.

[5] BARROS, Evandro V. **A matriz energética mundial e a competitividade das nações: Bases de uma nova geopolítica**. Junho 2007.

[6] BORGES, Antônio N. **O lixo atômico**. PUC Goiás. Disponível em < http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prograd/graduacao/home/secao.asp?id_secao=6091&id_unidade=43>. Acesso em: 28, nov. 2013.

[7] BOSCO, E. D. **Fusão termonuclear controlada**. Laboratorio Associado de Plasma LAP. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE. III Encontro de Verão de Física do ITA. Fevereiro, 2008.

[8] BRAZIL ENERGY FRONTIERS 2013 – ANAIS – **A Energia Nuclear como Planejamento Energético Nacional**. São Paulo: outubro, 2013.

[9] CABRAL, Gabriela. **Acidente Nuclear em Chernobyl**. Disponível em <http://www.mundoeducacao.com/historiageral/acidente-chernobyl.htm>. Acesso em: 15 out. 2013.

[10] CALIAN, Bruna R. **Energia Nuclear**. Universidade Estadual de Campinas. Disponível em < http://gpquae.iqm.unicamp.br/textos/T5.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2013.

[11] CARDOSO, E. M. et al. **Energia Nuclear – Apostila Educativa**. Comissão Nacional de Energia Nuclear – Rio de Janeiro – RJ. Disponível em <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/energia.pdf>. Acesso em: 14 out. 2013.

[12] CARDOSO, F. PCTN - Programa de pós-graduação em ciências e técnicas nucleares. **Reatores Nucleares Avançados** .Universidade Federal de Minas Gerais.

[13] CARVALHO, L. S. **Frequência de danos no núcleo por blecaute em reator nuclear de concepção avançada**. São Paulo, 2004.

[14] CENTRAL NUCLEAR DE ANGRA DOS REIS. Disponível em <http://www.eletronuclear.gov.br/AEmpresa/CentralNuclear>. Acesso em: 17 out. 2013.

[15] CETESB. **Transição energética na Alemanha já afeta grandes empresas do setor**. Disponível em

<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima/file/noticias/2013/09set/19-09-2013(11).pdf>. Acesso em: 25 nov. 2013.

[16] CHAGAS, Aécio P. **O que se mede num calorímetro**. Instituto de Química. Novembro, 1991.

[17] CHEMELLO, Emiliano. **Chernobyl: A luta contra um inimigo "invisível"**. Química Virtual: out, 2010.

[18] COMO FUNCIONAM OS REATORES NUCLEARES. Disponível em <http://conhecerparadebater.blogspot.com.br/2011/04/como-funcionam-os-reatores-nucleares.html>. Acesso em: 13 nov. 2013.

[19] CURY, Rafael. **Ciência Hoje – Reatores Nucleares da 4ª Geração**. Disponível em <http://www.lutzhoepner.de/uebersetzen/Reatores%20nucleares.htm>. Acesso em: 05 nov. 2013.

[20] DAU, Claudio G. M. **Energia Nuclear: segurança e rejeitos radioativos**. Rio de Janeiro: 2009.

[21] ELETROBRAS ELETRONUCLEAR. **Central Nuclear do Nordeste**. Disponível em <http://www.eletronuclear.gov.br/LinkClick.aspx?fileticket=V-YqhiUeb10%3D&tabid=347>. Acesso em: 18 nov. 2013.

[22] ELETROBRAS ELETRONUCLEAR: **Panorama da Energia Nuclear no mundo**. Gerência de Planejamento Estratégico. Novembro, 2011.

[23] ELETROBRAS ELETRONUCLEAR. **Panorama da Energia Nuclear no mundo**. Gerência de Planejamento Estratégico. Novembro, 2013.

[24] ELETRONUCLEAR ABDAN. **A indústria nuclear mundial – Projeto de Informações da Indústria Nuclear Mundial**. 2006.

[25] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2013** – Relatório Síntese ano base 2012. Rio de Janeiro, 2013.

[26] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007.

[27] ENERGY.GOV. **Office of Nuclear Energy**. Disponível em <http://energy.gov/node/28891/genIV/documents/gen_iv_roadmap.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2013.

[28] ENTENDA COMO FUNCIONA UMA USINA NUCLEAR. Disponível em <http://ultimosegundo.ig.com.br/mundo/entenda+como+funciona+uma+usina+nuclear/n1238161873387.html>. Acesso em: 13 nov. 2013.

[29] FERREIRA, Abrahão. **A Energia Nuclear pelo Mundo**. Disponível em <http://abrahao-radiologia.blogspot.com.br/2012/07/energia-nuclear-pelo-mundo.html>. Acesso em: 12 nov. 2013.

[30] FOGAÇA. Jennifer R. V. **O Acidente de Chernobyl**. Disponível em

<http://www.alunosonline.com.br/quimica/o-acidente-chernobyl.html>. Acesso em: 15 out. 2013.

[31] FOGAÇA, Jennifer R. V. **Fusão Nuclear**. Disponível em < http://www.alunosonline.com.br/quimica/fusaonuclear.html>. Acesso em: 28 nov. 2013.

[32] FORNI, J. J. **Comunicação e Crise**. Disponível em < http://www.comunicacaoecrise.com/new/index.php?option=com_content&view=article&id=380:three-mile-island-e-o-derretimento-da-credibilidade&catid=35:blog&Itemid=54r>. Acesso em: 02 nov. 2013.

[33] FREUDENRICH, Craig. **Como funcionam os reatores de fusão nuclear**. Disponível em <http://ciencia.hsw.uol.com.br/reator-fusao-nuclear1.htm>. Acesso em: 20 out. 2013.

[34] FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS: **O futuro energético e a geração nuclear**. FGV PROJETOS N° 19. 2013.

[35] FUSÃO NUCLEAR: **Sonho da Energia das estrelas continua brilhando**. Disponível em <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=fusao-nuclear&id=010815110823>. Acesso em: 22 out. 2013.

[36] GAGLIANO, M. et al. **Novo reator revolucionará setor nuclear**. Ano 3 – N° 25 – Maio, 2011.

[37] GALLAS, Marcia R. **Energia Nuclear: Fissão, Fusão e Aplicações**. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/~marcia/FN_aula3.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2013.

[38] GARCIA, Rafael. **O Brasil e a Fusão Nuclear – Sem verba, Brasil vira sócio de reator de fusão nuclear**. Folha de São Paulo. Fevereiro, 2009.

[39] GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico. **Perspectivas da matriz elétrica mundial Pós-Fukushima**. Castro, N. J; Dantas G. A; Brandão, R. Texto de discussão do Setor Elétrico n° 39 – Rio de Janeiro, 2011.

[40] GOLDEMBERG, J; LUCON, O. Energia e Meio Ambiente no Brasil. Estudos avançados 21 (59), 2007.

[41] GONZÁLES, Abel J. **Lições aprendidas em Fukushima sobre Proteção Radiológica**. Congresso Regional IRPA. Rio de Janeiro, 2013.

[42] HANK, Holger. **1979: Acidente Nuclear em Three Mile Island**. Disponível em <http://dw.de/p/3HZ9>. Acesso em: 16 out. 2013.

[43] HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 9ª Edição.

[44] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **Nuclear Safety Review 2013**. Austria: julho, 2013.

[45] ITA. Notícias: **uma forma alternativa e eficiente de geração de energia elétrica**. 2003. Disponível em: <http://www.ita.br/online/2003/noticias03/tokamak/tokamak.htm>. Acesso em: 29 nov. 2013.

[46] ITER. Disponível em: < http://www.iter.org>. Acesso em: 22 out. 2013.

[47] JACOMINO, Vanusa F. J. **Energia Nuclear e o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: < http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo_11.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2013.

[48] KAMINISHIKAWAHARA, C. O. **Determinação da Temperatura e densidade eletrônica do plasma no Tokamak**. Instituto de Física Gleb Wataghin. Campinas, julho 2004.

[49] KRIVIT, S.; WINOCUR N. **O Renascimento da Fusão a frio: Ciência Real, a esperança real, Energia reais - Bases da Fusão a frio**. Disponível em: <http://newenergytimes.com/v2/books/RebirthofColdFusion/Rebirth-Summary-Portugeese.pdf >. Acesso em: 25 out. 2013.

[50] LEITE, Paulo Moreira. **A energia nuclear tem um futuro após Fukushima.** Disponível em: http://www.istoe.com.br/colunas-e-blogs/coluna/300693_A+ENERGIA+NUCLEAR+TEM+UM+FUTURO+APOS+FUKUSHIMA. Acesso em: 05 nov. 2013.

[51] LEVADA, C. L; MACETI, H; LAUTENSCHLEGUER, I. J. **Os vinte anos da (com)fusão nuclear a frio**. Scientia Plena. Vol 5 – Num 5. Maio, 2009.

[52] LOPES, Gustavo. **Fusão Nuclear** – Release Candidate 1. Revisão 140.

[53] LORDELO, Carlos. **Atualidades na FUVEST: Acidente nuclear em Fukushima**. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/vidae,atualidades-na-fuvest-acidente-nuclear-em-fukushima,789998,0.htm>. Acesso em: 02 nov. 2013.

[54] MARTINS, Jader Benuzzi. **A História da Energia Nuclear**. Disponível em: <https://www.google.com.br/?gws_rd=cr&ei=OBF9UsrlLK7k4AOrx4CgAw#q=hist%C3%B3rico+da+energia+nuclear&spell=1>. Acesso em: 11 nov. 2013.

[55] MARTON, Fábio. **Como o acidente na usina de Three Mile Island mudou a trajetória da energia nuclear**. Disponível em: <http://guiadoestudante.abril.com.br/aventuras-historia/como-acidente-usina-three-mile-island-mudou-trajetoria-energia-nuclear-691564.shtml>. Acesso em: 16 out. 2013.

[56] MASSA E ENERGIA. Disponível em: http://atomico.no.sapo.pt/08_06.html. Acesso em: 25 nov. 2013.

[57] MAX PLANCK INSTITUT FUR PLASMAPHYSIK – **IPP Projects: Wendelstein 7-x**. Disponível em: <http://www.ipp.mpg.de/ippcms/eng/pr/forschung/w7x/>. Acesso em: 22 out 2013.

[58] MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO ORÇAMENTO E GESTÃO. Secretaria de Orçamento Federal**: Ações Orçamentárias Integrantes da Lei Orçamentária para 2013 – Programa: Política Nuclear**.

[59] MONGELII, Sara T. **Geração núcleo-eletrica: Retrospectivas, situação atual e perspectivas futuras**. São Paulo, 2006.

[60] MORAIS, Gideu. **Itália e Rússia Reator de Fusão ITER fundo para rival**. Disponível em:

<http://www.icemcaraubas.com/2010/04/italia-e-russia-reactor-de-fusao-iter.html>. Acesso em: 22 out. 2013.

[61] MÜLLER, Antonio E. F. **1° Encontro de Negócios de Energia Nuclear**. ABDAN – Associação Brasileira para Desenvolvimento das Atividades Nucleares. São Paulo: Nov, 2010.

[62] NUCLEAR POWER REACTORS. **World Nuclear Association**. Disponível em: <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Power-Reactors/Nuclear-Power-Reactors/>. Acesso em: 18 out. 2013.

[63] NUCLEAR REACTORS. Disponível em: <http://chemistry.tutorvista.com/nuclear-chemistry/nuclear-reactors.html>. Acesso em: 02 dez. 2013.

[64] O ACIDENTE DE CHERNOBYL. Disponível em: <http://portaldaradiologia.com/?p=724>. Acesso em: 16 out. 2013.

[65] ORICCHIO, Livio. Fusão Nuclear: **Brasil recusou oferta para ser cotista de projeto**. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/vidae,fusao-nuclear-brasil-recusou-oferta-para-ser-cotista-de-projeto,986080,0.htm>. Acesso em: 07 nov. 2013.

[66] O QUE É A ENERGIA NUCLEAR. Centro de Fusão Nuclear – CFN. Disponível em: < http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=24&ved=0CDwQFjADOBQ&url=http%3A%2F%2Fwww.cfn.ist.utl.pt%2Fpt%2Fconsultorio%2FlistA.html&ei=ameXUp6AI7OqsATirIHACg&usg=AFQjCNGbDn2up88sQxIoHGH3XffY1oOkaQ&cad=rja>. Acesso em: 28 nov. 2013.

[67] PALANDI, J. *et al.* **Física Nuclear**. Departamento de Física – Grupo de Ensino de Física. Santa Maria – RS: 2010.

[68] PATRIOTA, Patrícia. **Three Mile Island**. Brasília, junho 2011.

[69] PEREIRA, L; Vicentini, E. **Ensino de Física: Usinas Nucleares e sua utilização no mundo**. Guarapuava, 2011.

[70] PERROTA, José Augusto. **Reatores Nucleares – Conceitos**. 4, abril, 2013. Pagina 1-7.

[71] PLUTONIO. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Plut%C3%B3nio>. Acesso em: 02 dez. 2013.

[72] PRÄS, A. R. A. **Energia Nuclear hoje: Uma análise exploratória**. Porto Alegre, 2007.

[73] PRESSE, France. Alemanha amplia compra de energia nuclear da França. Janeiro, 2012. Disponível em < http://g1.globo.com/economia/noticia/2012/01/alemanha-amplia-compra-de-energia-nuclear-da-franca.html> . Acesso em: 28 nov. 2013.

[74] RATTNER, Henrique. **A Crise do Petróleo**. Revista Espaço Acadêmico – N°86 – Mensal. Julho, 2008.

[75] REATORES DE FUSÃO II. **A energia nuclear como alternativa energética**. Disponível em: < http://nuclear.com.sapo.pt/index_ficheiros/Page1699.htm>. Acesso em: 20 nov. 2013.

[76] ROSA, Alexandre N. **Estudo de Impacto Ambiental do Reator Multipropósito Brasileiro** -MRS Estudos Ambientais Ltda. Maio, 2013. Vol 4.

[77] ROTHMAN, Paula. **Angra pode virar uma nova Fukushima ou Chernobyl?.** Disponível em: <http://exame.abril.com.br/ciencia/noticias/angra-pode-virar-uma-nova-fukushima-ou-chernobyl?page=2>. Acesso em: 17 out. 2013.

[78] SANTOS, R; Filho D. S. O. **Divisão de atendimento a Emergências Radiológicas Nucleares – IRD/CNEN**. Disponível em: <http://www-ns.iaea.org/downloads/ni/embarking/ws-ssg16-brazil-2011oct/26-oct-wednesday/sistema-brasileiro-de-atendimento-a-emergencias-radiologicas-e-nucleares-2011.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2013.

[79] SHIRAZI, Arnon. **Angra 1? Angra 2? Angra 3?** Disponível em: <http://insidechernobyl.wordpress.com/2009/05/22/angra-1-angra-2-angra-3-ahmmm/>. Acesso em: 02 dez. 2013.

[80] SHUKMAN, David. **Projeto que busca " energia sem fim" por fusão nuclear vive fase crucial**. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2013/08/130807_energia_inesgotavel_vj_pai.shtml>. Acesso em: 19 out. 2013.

[81] SILVA, Antônio Teixeira. **Reatores Nucleares de Potência** - Oportunidades em Atividades Nucleares no Brasil: Medicina, Agricultura e Indústria. In: II Workshop Internacional ENUMAS 2010. Unicamp – Campinas. Agosto, 2013.

[82] SILVA, Emilson B. Análise Preliminar da possível implantação de uma usina nuclear em dois municípios do Estado da Bahia. Disponível em: <http://www.uesb.br/eventos/ebg/anais/4a.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2013.

[83] SIPRON. **Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República**. Disponível em < http://sipron.planalto.gov.br/2013-02-08-18-01-09/centros-de-resposta>. Acesso em: 21 nov. 2013.

[84] STORMS, Edmond. **Estudo da Fusão a Frio**. Fevereiro, 2013 – Traduzido por Sérgio Bacchi.

[85] TEIXEIRA, Deivid Cezario. **Acidente Nuclear da Usina de Chernobyl**. Disponível em <http://www.infoescola.com/fisica/acidente-da-usina-nuclear-de-chernobyl/>. Acesso em: 16 out. 2013.

[86] TOKAMAKS. Disponível em <http://www.plasma.inpe.br/LAP_Portal/LAP_Sitio/Texto/Tokamaks.htm>. Acesso em: 29 nov. 2013.

[87] UFSM: Fusão Nuclear. Grupo de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/gef/Nuclear/nuclear15.pdf>. Acesso em: 28, nov. 2013.

[88] WIKIMEDIA. **Supercritical-water-cooled-reactor**. Disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Scwr.gif?uselang=pt-br>. Acesso em: 09 dez. 2013.

[89] WESTINGHOUSE. **AP 1000**. Disponível em: <http://www.ap1000.westinghousenuclear.com/>. Acesso em: 06 nov. 2013.

[90] WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. **Nuclear Power Reactors**. Acesso em: 21 out. 2013.

Capítulo 13

[1] ABREU, Y. V. DE et al. **Energia, Sociedade e Meio Ambiente.** Palmas, 2010. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2010/Artigos%20de%20Periodicos/Yolanda%20Abreu%20Brasil%208%20julho2010.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2013.

[2] BAJAY, S. V.; BARONE, J. C. Otimização do Uso de Balanços Energéticos no Planejamento Energético Regional. **Revista Brasileira de Energia**, v. 2, n. 1, 1992. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sbpe.org.br%2Fsocios%2Fdownload.php%3Fid%3D36&ei=E8wXUqGEIIOs9ASurYDABA&usg=AFQjCNGV5YI222MqaJ99cJ3nT_uSBFi9Lg&bvm=bv.51156542,d.cWc>. Acesso em: 25 jul. 2013.

[3] BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE ALAGOAS (BEAL). **Secretaria de Estado de Planejamento e do Desenvolvimento Econômico.** Alagoas, 2012. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.seplande.al.gov.br%2Fenergia-e-recursos-minerais%2Frecursos-energeticos%2Fbalanco-energetico-dealago-as%2FBeal%25202012.pdf%2Fat_download%2Ffile&ei=3L4XUvekMYf68QS0uICIBA&usg=AFQjCNE9u5dfxenQOjEkgtUHDb9pEtSJjA&bvm=bv.51156542,d.cWc>. Disponível em: 21 ago. 2013.

[4] BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE GOIÁS (BEGO). **Secretaria de Estado de Infraestrutura.** Goiânia, 2009. Disponível em: <http://www.sgc.goias.gov.br/upload/anexos/2011-06/bego-2009_completo.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2013.

[5] BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Secretaria de Energia.** São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/386.pdf>. Acesso em: 20 ago.2013.

[6] BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DO CEARÁ (BEECE). **Secretaria da Infraestrutura.** Fortaleza, 2008. Disponível em: <http://www.forumdeenergia.com.br/nukleo/pub/beece_2008_ano_base_2007.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2013.

[7] BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (BEES). **Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo.** Vitória, 2012. Disponível em: <http://www.aspe.es.gov.br/download/Balanco_Energetico_2012_Ano_base_2011.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2013.

[8] BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços.** Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.forumdeenergia.com.br/nukleo/pub/balanco_2009_rj.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2013.

[9] BALANÇO ENERGÉTICO DA BAHIA. **Secretaria de Infraestrutura.** Salvador, 2009. Disponível em: <http://www.forumdeenergia.com.br/nukleo/pub/balancoenergetico_bahia_2009.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2013.

[10] BALANÇO ENERGÉTICO DE MATO GROSSO E MESORREGIÕES (BEEMT). **Secretaria de Estado de Indústria, Comércio, Minas e Energia.** Cuiabá, 2010. Disponível em: <http://www.sicme.mt.gov.br/arquivos/A_39451c4e8ed426dBEEMT2010_Parte1A.pdf>. Acesso em: 22 de ago. 2013.

[11] BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (BEEMG). **Companhia Energética de Minas Gerais.** Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/ptbr/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/26BEEMGcc.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2013.

[12] BALANÇO ENERGÉTICO DO RIO GRANDE DO SUL. **Companhia Estadual de Energia Elétrica.** Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/BERS2012/1%20Balanco%20Energetico%20do%20Rio%20Grande%20do%20Sul%202011%20%20ano%20base%202010.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2013.

[13] BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN). **Empresa de Pesquisa Energética.** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2013.

[14] BRASIL. Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004. **Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.847.HTM>. Acesso em: 09 ago. 2013.

[15] CALVACANTI, F. J. DO M. DE M. **Elaboração e Análise do Balanço Energético do Estado de Pernambuco de 1989 a 1998**. Recife, 2000. Disponível em: <http://www.liber.ufpe.br/teses/arquivo/20030715111826.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2013.

[16] COGEN – ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. **Cogeração – Conceito e Tecnologias.** Disponível em: < http://www.cogen.com.br/cog_conceito.asp>. Acesso em: 30 set. 2013

[17] COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL). **Balanço Energético do Paraná.** Curitiba, 2010. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/balanco_energetico_do_parana-2010-ano_base_2009/$FILE/Balanco_Energetico_do_Parana-2010-Ano_Base_2009.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2013.

[18] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional.** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Balan%C3%A7o%20Energ%C3%A9tico%20Nacional%20%E2%80%93%20BEN/Estudos_13.aspx>. Acesso em: 13 ago. 2013.

[19] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Planejamento e Balanço Energético do Nordeste do Brasil – Condições Atuais e Diretrizes.** Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/conteudo/download/PE_Condicoes_Diretrizes.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2013.

[20] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Procedimentos de Elaboração de Balanços Energéticos.** Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/conteudo/download/PE_Procedimentos_Elaboracao.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2013.

[21] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (OECD/IEA). **Energy Statistics Manual.** França, 2005. Disponível em: <http://www.iea.org/stats/docs/statistics_manual.pdf>. Acesso em: 19 set. 2013.

[22] LUZ, T. J. DA. **Estudo Comparativo entre o Balanço Energético Nacional e os Balanços Estaduais.** Curitiba, 2011. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/204.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2013.

[23] MUNDO EDUCAÇÃO. **Poder Calorífico de Combustíveis.** Disponível em: <http://www.mundoeducacao.com/quimica/poder-calorifico-combustiveis.htm>. Acesso em: 01 ago. 2013.

[24] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Avaliação do Consumo Residencial de Lenha e Carvão Vegetal do Balanço Energético Nacional.** Nota Técnica Coben 07, 1988. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/1_-_Sobre_o_BEN/NT_COBEN_07.pdf>. Acesso em: 23 set. 2013.

[25] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Novo Fator de Conversão para a Lenha.** Nota Técnica Coben 04, 1988. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/1_-_Sobre_o_BEN/NT_COBEN_04.pdf>. Acesso em: 23 set. 2013.

[26] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Tratamento da Cogeração nos Balanços Energéticos.** Nota Técnica Coben 08, 1993. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/1_-_Sobre_o_BEN/NT_COBEN_08.pdf>. Acesso em: 25 set. 2013.

[27] MOVIMENTO DEMOCRACIA DIRETA (MDD). **O segredo das sete irmãs: a vergonhosa história do petróleo.** Disponível em: <http://www.mddvtm.org/detalhes-medida.html?id=183>. Acesso em: 30 set. 2013.

[28] OLADE. **Olade.** Disponível em: <http://www.olade.org/>. Acesso em: 23 set. 2013.

[29] PLANETA 21. **Sustentabilidade.** Disponível em: <http://www.planeta21.com.br/sustentabilidade.asp>. Acesso em: 30 set. 2013.

[30] PEDERNEIRAS, F. L. **Padronização metodológica de balanços energéticos e seu impacto no uso de indicadores.** Rio de Janeiro, 2007. Acesso em: 18 out. 2013.

[31] SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL. **SDS faz parceria com CELESC para coordenar o balanço energético do Estado.** Florianópolis, 2011. Disponível em: <http://www.sds.sc.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=722&Itemid=152&lang>. Acesso em: 21 ago. 2013.

[32] SITE 180 GRAUS. **Balanço Energético vai permitir avanços no setor.** Disponível em: <http://180graus.com/noticias/balanco-energetico-vai-permitir-avancos-no-setor-209717.html>. Acesso em: 25 jul. 2013.

[33] VIRTUALIA. **O mundo e a crise do petróleo de 1973.** Disponível em: <http://virtualia.blogs.sapo.pt/43321.html>. Acesso em: 19 jul. 2013.

[34] WIKIPÉDIA. **Sete Irmãs.** Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Sete_irm%C3%A3s>. Acesso em: 25 set. 2013.

Capítulo 14

[1] Revista Liberato: Educação, Ciência e Tecnologia. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras [online]. Edição: Novo Hamburgo, Elizabete Kuczyki Nunes, 2011. Disponível em: <http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0119071114445125.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2013.

[2] WALTER, Osvaldo Luiz. História da eletricidade. Mogi Mirim, 2010. Disponível em:<http://www.univasf.edu.br/~edmar.nascimento/iee/1HistoriaEletricidade.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2013.

[3] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANNEL), Nota Técnica n° 0098/2012 – SRD/, Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/043/resultado/nota_tecnica_0098_srd-aneel.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2013.

[4] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANNEL), Indicadores de Qualidade. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/indicadores_de_qualidade/pesquisaGeral.cfm>. Acesso em: 2 abr. 2013.

[5] Smart Grid News, Desafios da Migração Tecnológica Smart Grid. Disponível em: < http://smartgridnews.com.br/entrevista-desafios-da-migracao-tecnologica-smart-grid-claudio-lima>. Acesso em: 21 fev. 2013.

[6] Minicurso para o SBrT 2012: Smart Grid e IEC 61850: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico. Disponível em: <http://sbrt.org.br/sbrt2012/publicacoes/99346_1.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2013.

[7] RIBEIRO, Cássio Lourenço. Aspectos Institucionais para o Smart Grid: riscos, oportunidades e desafios regulatórios. Disponível em: <http://www.smartgrid.com.br/eventos/smartgrid2011/pdf/032.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2013.

[8] Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes Ministério de Minas e Energia- Relatório Smart Grid. Disponível em:< http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/acoes/Energia/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf >. Acesso em: 8 mar. 2013.

[9] SEVERINO, Mauro Moura; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves. Revista Brasileira de Energia vol.14 n°1. Geração distribuída: Discussão conceitual e nova definição. sbpe – Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 2008.

[10] CAS Tecnologia 2012: Soluções reais para problemas reais. Disponível em: <http://www.cas-tecnologia.com.br/index.php/imprensa/2012>. Acesso em: 8 mar. 2013.

[11] Revista Smart Energy n° 15. Smart Grid: Revolução que ainda está por vir. [online]. Editora: Bolina, Dezembro/2012. Disponível em: <http://www.smartenergyonline.com.br/edition.php?e=21>. Acesso em: 12 mar. 2013.

[12] ANEEL, ANEEL abre audiência para definir novo padrão de medidor de energia. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=3571&id_area=90 >. Acesso em: 12 mar. 2013.

[13] ANEEL, Tarifa branca ao consumidor de baixa tensão valerá com novo medidor. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=4921&id_area=90 >. Acesso em: 25 mar. 2013

[14] FERREIRA, Maria Carolina Avela Fadul. Perspectivas e Desafios para a Implantação das Smarts Grids: um estudo de caso dos EUA, Portugal e Brasil. 2010. 78 f. Monografia (Programa de Graduação em Economia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.

[15] MACEDO, Isaias Carvalho. Estado da arte e tendências tecnológicas para energia. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos- Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/ct_energ/documentos/ct-energ03estado_arte.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2013.

[16] RODRÍGUEZ, Carlos Roberto Cervantes. Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. Dissertação de Mestrado, Campinas/SP. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. 135p. 2002.

[17] Revista Smart Energy n° 09. Smart Grid: A revolução começou. [online]. Editora: Bolina, Dezembro/2011. Disponível em: < http://www.smartenergyonline.com.br/edition.php?e=21>. Acesso em: 9 abr. 2013.

[18] Sunenergy: Microgeração. Disponível em: <http://www.sunenergy.pt/particulares/microgeracao/>. Acesso em: 9 abr. 2013.

[19] JUNIOR, Ivoni Carlos Acunha. Análise do desempenho de um aerogerador de pequeno porte. Dissertação de Mestrado, Rio Grande. Universidade Federal do Rio Grande. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. 100p. 2006.

[20] Revista Meio Ambiente Industrial. ABEEólica comemora competitividade da energia eólica e prevê quatro leilões para 2013. [online]. Editora: Bolina, Dezembro/2011. Disponível em: <http://rmai.com.br/v4/Read/1469/abeeolica-comemora-competitividade-da-energia-eolica-e-preve-quatro-leiloes-para-2013.aspx>. Acesso em: 9 abr. 2013.

[21] SANTOS, Alison Alves; RAMOS, Daniel Silva; SANTOS, Nilson Tadeu Fernandes; OLIVEIRA, Pedro Porto. Projeto de geração de energia eólica. Projeto de Graduação do Curso de Engenharia Industrial Mecânica, Santoa/SP. Universidade Santa Cecília. 75p. 2006.

[22] CONFAP: Conselho Nacional das Fundações de amparo à pesquisa. Disponível em: <http://www.confap.org.br/pesquisadores-da-ufc-constroem-turbina-eolica-de-pequeno-porte/>. Acesso em: 19 abr. 2013.

[23] DRIEMEIER, Luís Henrique. Geração Distribuída. Projeto de diplomação, Porto Alegre/RS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Elétrica. 76p. 2009.

[24] Apostila de Cogeração. Notas de aula de Cogeração. Curso de Engenharia de Equipamentos. Edição de agosto de 2005. Disponível em: <http://www.professores.uff.br/dulcemar/Doc_PDF/Apostila_Cogeracao_Otima.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2013.

[25] SANTOS, Fernando Butierres; NOVO, Luciana Morgani Alves. Fundamentos Teóricos Relacionados à Cogeração e o exemplo da Central de Cogeração Infoglobo . Projeto de obtenção de grau, Rio de Janeiro/RJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. 189p. 2008.

[26] GOVERNMENT SERIES SMART GRID. Ano 2009, vol1. Copyright 2009 by The Capitol.Net. All Rights Reserved. 703-739-3790.

[27] CEMIG, A CEMIG e o Futuro: Inovação, Alternativas Energéticas, Veículo elétrico. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Paginas/veiculo_eletrico.aspx>. Acesso em: 19 abr. 2013.

[28] EIA, U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2011. DOE/EIA- 0484 (2011). Setembro 2011. Disponível em: < http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2011).pdf>. Acesso em: 24 abr. 2013.

[29] SILVEIRA, Paulo Márcio; RIVEIRO, Paulo Fernando. Introdução do Conceito de Redes Elétricas Inteligentes no currículo do Engenheiro Eletricista Brasileiro. COBENGE XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. 03 a 06 de Setembro 2012- Belém –PA. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2012/artigos/104193.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2013.

[30] SUNLAB, Solar Cells and Nanostructured Devices Laboratory. Primary energ. use, projected to the year 2100, German Advisory Council on Global Change. Disponível em: <http://sunlab.site.uottawa.ca/research.php>. Acesso em: 24 abr. 2013.

[31] PASCALICCHIO, Agostinho Celso. Perspectiva Econômica e Modelo de Negócio da Tecnologia de Telecomunicação nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica no Brasil. Tese de doutorado 147p. 2011. Programa de pós graduação em Energia da Universidade de São Paulo – Escola Politécnica/ Faculdade de Economia e Administração/Instituo de Eletrotécnica e Energia.

[32] ZELLER, TOM JR. Smart' Meters Draw Complaints of Inaccuracy. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2010/11/13/business/13meter.html?_r=0>. Acesso em: 24 abr. 2013.

[33] GIGLIOLI, Enrico; PANZACCHI, Cosma; SENNI, Leonardo. How Europe is Approaching the Smart Grid – European Unity Progress. Milano: Mckinsey & Company, Italy, 2010.

[34] ENEL Distribuzione. Italy' First Smart Grid In Isernia. Disponível em: <http://www.enel.com/en-GB/media/press_releases/enel-distribuzione-italy-s-first-smart-grid-in-isernia/r/1648124/>. Acesso em: 1º mai. 2013.

[35] EcoDebate – Cidadania &Meio Ambiente. Governo alemão vai substituir energia nuclear pela solar, éolica e biomassa. Disponível em: <http://www.ecodebate.com.br/2011/11/04/governo-alemao-vai-substituir-energia-nuclear-pela-solar-eolica-e-biomassa/>. Acesso em: 1º mai. 2013.

[36] LOGICA be brilliant together. SMART GRID STUDY AUSTRALIA. A comprehensive view of the strategies, priorities, drivers and challenges for Australia's smart grid adoption. Sidney:Logia Pty Ltd., 2009. Disponível em: <http://www.logica.com.au/we-are-logica/media-centre/case-studies/logica-smart-grid study/~/media/Australia/Media%20Centre%20Items/CaseStudy/Logica%20Smart%20Grid%20Study%202009_10_.ashx>. Acesso em: 5 mar. 2013.

[37] ANEEL, Nota técnica n° 0025/2011-SRD-SRC-SRG-SCG-SEM-SRE-SPE/ANEEL. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/042/documento/nota_tecnica_0025_gd.pdf>. Acesso em: 1º mai. 2013.

[38] WADE, World Survey of Decentralized Energy 2006. Disponível em: <http://www.localpower.org/documents/report_worldsurvey06.pdf>. Acesso em: 1º mai. 2013.

[39] Know your power. Electricity generation in Canada by fuel type, 2011. Disponível em: < http://knowyourpower.ca/data-world/>. Acesso em: 2 mai. 2013.

[40] TJPP. Os 10 países que mais investem em energia renovável. Disponível em: <http://www.todosjuntospeloplaneta.com.br/2011/01/os-10-paises-que-mais-investem-em.html>. Acesso em: 2 mai. 2013.

[41] IER Institute for Energy Research. What Can the U.S. Learn from China's Energy Policy?. Disponível em: <http://www.instituteforenergyresearch.org/2009/11/20/what-can-the-u-s-learn-from-chinas-energy-policy/>. Acesso em: 2 mai. 2013.

[42] ANEEL. Banco de Informações da Geração. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.asp>. Acesso em: 6 mai. 2013.

[43] Revista Smart Energy n° 14. Terceiro ciclo gera conflito entre ANEEL e distribuidoras. [online]. Editora: Bolina, outubro/2012. Disponível em: < http://www.smartenergyonline.com.br/edition.php?e=21>. Acesso em 6 mai. 2013.

[44] ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <http://www.ons.org.br/conheca_sistema/pop/pop_sistema_transmissao.aspx>. Acesso em: 6 mai. 2013.

[45] ANEEL. Lei n° 9.991, de 24 de julho de 2000. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei20009991.pdf>. Acesso em: 6 mai. 2013.

[46] ANEEL. Chamada n°011/2011 Projeto Estratégico: "Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente". Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2008-ChamadaPE11-2010.pdf >. Acesso em: 10 mai. 2013.

[47] Computerworld- Tecnologia, 2012, Brasil trilha caminho para adotar Smart Grid. Disponível em: < http://computerworld.uol.com.br/tecnologia/2012/08/07/brasil-trilha-caminho-para-chegar-a-smart-grid/ >. Acesso em: 10 mai. 2013.

[48] APOSTILA GDEE. Geração Distribuída de Energia Eléctrica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores. p.75. Disponível em: <http://lge.deec.uc.pt/ensino/gee/trabalhos%20pesquisa/2004_2005/geracao%20distribuida/GEE_Relatorio.pdf> . Acesso em: 10 mai. 2013.

[49] DIAS, Marcos Vinícius Xavier; BOROTNI, Edson da Costa; HADDAD, Jamil. Revista Brasileira de Energia vol.11 n°2. Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras. sbpe – Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 2002.

[50] ANEEL. Resolução n°21 de 21 de janeiro de 2000. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2000021.pdf >. Acesso em: 13 mai. 2013.

[51] ANEEL. Lei n° 10.438 de abril de 2002. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200210438.pdf>. Acesso em: 13mai. 2013.

[52] IEA - International Energy Agency. Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets - OECD/IEA, 2002. Disponível em: <http://gasunie.eldoc.ub.rug.nl/FILES/root/2002/3125958/3125958.pdf >. Acesso em: 13 mai. 2013.

[53] Revista O setor elétrico cap.VII. Microrredes Inteligentes: um novo modelo de negócio para a distribuição de energia elétrica. [online]. Editora: Atitude.Editorial, dezembro/2011. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed71_fasc_smart_grids_cap7.pdf >. Acesso em: 13 mai. 2013.

[54] FANG, Xi. XUE, Guoliang. YANG, Dedun, "Smart Grid- The New Improved Power Grid: A Survey. Power, vol. PP, n°99, p-1-37, 2011.

[55] JORNAL TUDO EM DIA. Cemig realiza testes de veículo elétrico pelas ruas de Uberlândia. Disponível em: <http://www.tudoemdia.com/portal/2013/02/cemig-realiza-testes-de-veiculo-eletrico-pelas-ruas-de-uberlandia/>. Acesso em: 10 abr. 2013.

[56] ABI Research Technology Market Inteligente. Utility Smart Grid Spending Almost Doubles Worldwide in 2012. Disponível em: <http://www.abiresearch.com/press/utility-smart-grid-spending-almost-doubles-worldwi>. Acesso em: 13 mai. 2013.

[57] Guia das cidades digitais, 2011. Recursos para cidades inteligentes devem quintuplicar até 2016. Disponível em: <http://www.guiadascidadesdigitais.com.br/site/pagina/recursos-para-cidades inteligentes-devem-quintuplicar-at-2016>. Acesso em: 13 mai. 2013.

[58] CIDADES SUSTENTÁVEIS. Amsterdã: uma cidade inteligente. Disponível em: <http://www.cidadessustentaveis.org.br/boas-praticas/amsterda-uma-cidade-inteligente>. Acesso em: 13 mai. 2013.

[59] URENIO Urban and Regional Innovation Research. Watch: Intelligent Cities – Smart Cities – Innovation Ecosystems. Disponível em: <http://www.urenio.org/2010/01/10/2320/>. Acesso em: 13 mai. 2013.

[60] Pantoja Engineering & Consultant. BOULDER, Colorado-USA - Primeiro Projeto Piloto SMART GRID CITY. Disponível em: <http://www.pantojaindustrial.com/exibir.php?id=42>. Acesso em: 20 mai. 2013.

[61] Revista On – Energia sem limites , junho 2010 n°17. Évora InovCity. A primeira cidade inteligente da Península Ibérica. [online]. Editoral: on. Disponível em: <http://www.edpbr.com.br/energia/noticias/revista_energias/pdf/ON_17_revista.pdf >. Acesso em: 20 mai. 2013.

[62] RedeInteligente, Lançado projeto Málaga SmartCity (Cidade Inteligente) Disponível em: <http://www.redeinteligente.com/2009/07/21/lancado-projeto-malaga-smartcity-cidade-inteligente/>. Acesso em: 20 mai. 2013.

[63] ERA. Málaga: génio entre as cidades espanholas. Disponível em: <http://blog.imoguia.com/erasantarem/?p=64>. Acesso em: 20 mai. 2013.

[64] EcoD. Programa quer tornar Santiago "mais inteligente" até o final de 2013. Disponível em: <http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2013/janeiro/programa-quer-tornar-santiago-mais-inteligente-ate>. Acesso em: 20 mai. 2013.

[65] LATERCERA.Chilectra presenta proyecto de Smartcity Santiago. Disponível em: < http://www.latercera.com/noticia/tendencias/2013/01/659-502371-9-chilectra-presenta-proyecto-de-smartcity-santiago.shtml>. Acesso em: 20 mai. 2013.

[66] Redes Inteligentes do Brasil. Projetos Piloto no Brasil. Disponível em: <http://redesinteligentesbrasil.org.br/>. Acesso em: 20 mai. 2013.

[67] Smart Grid News, Cemig implanta eficiência energética e redes inteligentes em Sete Lagoas. Disponível em: <http://smartgridnews.com.br/cemig-implanta-eficiencia-energetica-e-redes-inteligentes-em-sete-lagoas/>. Acesso em: 20 mai. 2013.

[68] Energia Inteligente, O seu ambiente de interação sobre energia e tecnolgia. Disponível em: <http://energiainteligenteufjf.com/2012/10/01/8-mil-medidores-inteligentes-serao-instalados-em-unidades-consumidoras-de-sete-lagoas/>. Acesso em: 20 mai. 2013.

[69] Agênciaminas, Projeto Cidades do Futuro, da Cemig, quer transformar consumidores em fornecedores de energia. Disponível em: <http://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticias/projeto-cidades-do-futuro-da-cemig-quer-transformar-consumidores-em-fornecedores-de-energia/>. Acesso em: 22 mai. 2013.

[70] RedeInteligente, Cemig prevê conclusão de 1ª etapa de projeto piloto de Smart Grid em 2014. Disponível em: <http://www.redeinteligente.com/2011/09/09/cemig-preve-conclusao-de-1%C2%AA-etapa-de-projeto-piloto-de-smart-grid-em-2014/>. Acesso em: 22 mai. 2013.

[71] Revista P&D: Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico. Gestão Tecnológica. [online]. Edição: Licia Linhares, Elizabete Kuczyki Nunes, 2011. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Documents/RevistaPeD2011.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2013.

[72] O DIA, Projeto faz de Búzios a primeira Cidade Inteligente. Disponível em: <http://odia.ig.com.br/portal/cienciaesaude/vidaemeioambiente/projeto-faz-de-b%C3%BAzios-a-primeira-cidade-inteligente-1.521561 />. Acesso em: 22 mai. 2013.

[73] AMPLA, Cidade Inteligente Búzios. Disponível em: <http://www.ampla.com/media/143621/cidade%20inteligente%20jul2011.pdf/>. Acesso em: 22 mai. 2013.

[74] Jornal da Energia – O mundo da eletricidade me tempo real. Light investe R$200 milhões em medição inteligente. Disponível em: <http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=11580&id_secao=12/>. Acesso em: 22 mai. 2013.

[75] ELETROBRAS Amazonas Energia. Projeto Parintins à presidência do Tribunal de Justiça do Amazonas. Disponível em: <http://www.amazonasenergia.gov.br/cms/eletrobras-amazonas-energia-apresenta-projeto-parintins-a-presidencia-do-tribunal-de-justica-do-amazonas/>. Acesso em: 22 mai. 2013.

[76] RedeInteligente, Parintins é pioneiro na instalação do sistema Smart Grid. Disponível em: < http://www.redeinteligente.com/2011/01/26/parintins-e-pioneiro-na-instalacao-do-sistema-smart-grid/>. Acesso em 27 de maio de 2013.

[77] Smart Grid News, InovCity: Lançamento de Projetos de Inovação Social e Mobilidade Elétrica Disponível em: <http://smartgridnews.com.br/inovcity-lancamento-de-projetos-de-inovacao-social-e-mobilidade-eletrica/>. Acesso em: 27 mai. 2013.

[78] Portugal Digital, EDP Brasil: InovCity completa um ano de implantação gerando resultados para população. Disponível em: <http://www.portugaldigital.com.br/economia/ver/20072587-edp-brasil-inovcity-completa-um-ano-de-implantacao-gerando-resultados-para-populacao>. Acesso em: 27 mai. 2013.

[79] Negócios. Diário do Nordeste. Redes elétricas inteligentes chegam ao Estado em 2013. Disponível em: <http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=1028539>. Acesso em: 21 fev. 2013.

[80] RedeInteligente, Fazenda Rio Grande é a cidade teste da Copel. Disponível em: <http://www.redeinteligente.com/2010/09/25/fazenda-rio-grande-e-a-cidade-teste-da-copel/>. Acesso em: 27 mai. 2013.

[81] Ambiente Energia. Meio Ambiente, sustentabilidade e inovação. Smart Grid: piloto em arquipélago. Disponível em: <http://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2012/03/smart-grid-piloto-em-arquipelago/17978>. Acesso em: 27 mai. 2013.

[82] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2021. Brasília: MME/EPE,2012. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2012/Relatxrio_PDE2021_ConsultaPxblica.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2013.

[83] ABRADEE, Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. Setor Elétrico: Visão Geral Do Setor. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor>. Acesso em: 31 mai. 2013.

[84] ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3ª. Edição- Brasília, 2008. ISBN: 978-85-87491-10-7; CDU: 621.31(81)(084.4); Brasil. Disponível em: <http://www.fisica.net/energia/atlas_de_energia_eletrica_do_brasul_3a-ed.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2013.

[85] Revista O setor elétrico cap.IV. Qualidade da energia elétrica no contexto de Smart Grid [online]. Editora: Atitude.Editorial, dezembro/2011. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed68_fasc_smart_grids_cap4.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2013.

[86] SARAIVA, Felipe de Oliveira. Aplicações de Sistemas Multiagentes para Gerenciamento de Sistemas de Distribuição tipo Smart Grids. Dissertação de Mestrado, São Carlos/SP. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. 115p. 2012.

Capítulo 15

[1] As boas novas. 5 frases verdes que mudaram o mundo. Disponível em: <asboasnovas.com/mundo/5-frases-verdes-que-mudaram-o-mundo>. Acesso em: 01 fev. 2013.

[2] CGEE- Centro de Estudos Estratégicos. Química Verde no Brasil 2010-2030. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/publicacoes/quimica_verde.php>. Acesso em: 01 set. 2013.

[3] A graça da química. Química Verde. Disponível em: <http://www.agracadaquimica.com.br/index.php?&ds=1&acao=quimica/ms2&i=5&id=96>. Acesso em: 01 fev. 2013.

[4] PEREIRA, Mariete M. Catálise em Síntese – Novos desafios para o século XXI. Disponível em: <http://www.spq.pt/boletim/docs/boletimSPQ_100_027_28.pdf>. Acesso em: 04 fev.2013.

[5] Blog do IB PITA. Resíduos Sólidos e seus Impactos. Disponível em: <http://iesertaozinho.com.br/blog/?p=105 >. Acesso em: 04 fev. 2013.

[6] CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Manual de Implementação de um Programa de Prevenção à Poluição. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/documentos/manual_implem.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2013.

[7] SANSEVERINO, Antônio M. Síntese Orgânica Limpa. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n1/2151.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2013.

[8] Site da US of Scranton Green Chemistry. Um Módulo de Química Verde. Disponível em: <http://academic.scranton.edu/faculty/cannm1/organic/organicmoduleport.html>. Acesso em: 04 fev. 2013.

[9] Portal Educação. Produtos Tóxicos. Disponível em: <http://www.portaleducacao.com.br/farmacia/artigos/7827/produtos-toxicos)>. Acesso em: 04 fev. 2013.

[10] SERRÃO, Caio Renan Goes; SILVA, Maria Dulcimar de Brito - A Química Verde presente nos artigos da Revista Química Nova: A divulgação científica dos últimos dez anos. Disponível em: <http://www.xveneq2010.unb.br/resumos/R0184-2.pdf >. Acesso em: 04 fev. 2013.

[11] Blog Administrando Legal. Disponível em: <http:// www.administrandolegal.blogspot.com>. Acesso em: 04 fev. 2013.

[12] Blog Grupo de Ciências e Energia. Biomassa Vegetal. Disponível em: <http:// www.grupodecienciasenergia.blogspot.com>. Acesso em: 05 fev. 2013.

[13] LENARDÃO, Eder João et al. "Green Chemistry" – Os doze princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v26n1/14310.pdf >. Acesso em: 05 fev. 2013.

[14] Site Embalagem Marca. Torcida após uso, nova garrafa da água Crystal tem volume reduzido. Disponível em: <http://www.embalagemmarca.com.br/2011/11/nova-ggarrafa-da-agua-crystal-pode-ser-torcida-apos-o-uso/>. Acesso em: 05 fev. 2013.

[15] PINHEIRO, Rafaelly Siionatto; LANDO Tamires; CARPES, Dra. Solange Teresinha - III Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia: Química Verde e seus princípios. Disponível em: <www.sinect.com.br/2012/down.php?id=2651&q=1>. Acesso em: 05 fev. 2013.

[16] Site da Embrapa Agroenergia. Biorrefinarias. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/908142/1/biorrefinariamodificadoweb.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2013.

[17] Site Shopping Biomassa Br. Tecnologia para conversão de biomassa em energia. Disponível em: <http://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=2041>. Acesso em: 05 fev. 2013.

[18] DOS SANTOS, Márcia França Ribeiro Fernandes; BORSHIVER, Suzana; COUTO, Maria Antonieta Peixoto Gimenes - Iniciativas para o uso de biomassa lignocelulósica em Biorrefinarias: a plataforma sucroquímica no mundo e no Brasil. Disponível em: <http://ecen.com/eee82/eee82p/biorefinarias.htm>. Acesso em: 05 fev. 2013.

[19] BASTOS, Valéria Delgado. Biorrefinarias, Biocombustíveis e química renovável: revolução tecnológica e financiamento. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev3803.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2013.

[20] Instituto de Tecnologia ORT. O que é biotecnologia? Disponível em: <http://www.ort.org.br/biotecnologia/o-que-e-biotecnologia>. Acesso em: 06 fev. 2013.

[21] UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. Tecnologia da Gaseificação. Disponível em: <ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/IM338/Gaseif-Cap1.pdf >. Acesso em: 06 fev. 2013.

[22] LORA, Dr. Electo Eduardo Silva. Gaseificação de Biomassa. Disponível em: <http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/position_paper_painel3_electo.pdf >. Acesso em: 06 fev. 2013.

[23] Site UOL. Como funciona o programa de álcool no Brasil. Disponível em: <http://carros.hsw.uol.com.br/programa-alcool-brasil1.htm >. Acesso em: 06 fev. 2013.

[24] ODEBRESCH. Visão Ampla. Disponível em: <http://www.odebrechtonline.com.br/materias/02601-02700/2700/?lang=pt>. Acesso em: 07 fev. 2013.

[25] Site Biodieselbr. Álcool – Etanol Brasileiro. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/energia/alcool/etanol.htm>. Acesso em: 07 fev. 2013.

[26] Jornal Primeira Página. Entra em operação a primeira indústria de álcoois graxos da América Latina. Disponível em: <http://www.jornalprimeirapagina.com.br/especial6.htm>. Acesso em: 07 fev. 2013.

[27] Portal Brasil. Oleaginosas brasileiras. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/inovacao/Cases/biodiesel/oleaginosas-brasileiras>. Acesso em: 07 fev. 2013.

[28] Globo Rural. Nova moeda no campo. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT168364-18282,00.html>.Acesso em: 15 fev. 2013.

[29] CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Canola. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_05_22_10_10_28_conolaabril2012.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2013.

[30] Infoescola – Navegando e Aprendendo. Ácidos graxos. Disponível em: <http://www.infoescola.com/bioquimica/acidos-graxos/>. Acesso em: 15 fev. 2013.

[31] GoldenMap. Álcoois graxos. Disponível em: <http://pt.goldenmap.com/%C3%81lcool_graxo>. Acesso em: 15 fev. 2013.

[32] BIOSEV – A Louis Dreyfus Commodities Company. Setor Sucroalcoleiro. Disponível em: <http://ri.biosev.com/biosev/web/conteudo_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=30884>. Acesso em: 18 fev. 2013.

[33] Site Planeta Sustentável. A construção da química verde. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/blog/planeta-urgente/construcao-quimica-verde-278368/>. Acesso em: 18 fev. 2013.

[34] Site da Globo. Planta piloto no RN vai pesquisar microalga para a produção de biodiesel. Disponível em: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2012/04/planta-piloto-no-rn-vai-pesquisar-microalga-para-producao-de-biodiesel.html>. Acesso em: 19 fev. 2013.

[35] Site Vive Sanamente. Alimentos que protegen contra el cáncer. Disponível em: <http://www.vivesanamente.com/alimentos-que-protegen-contra-el-cancer/>. Acesso em: 19 fev. 2013.

[36] Site da Uol - Como tudo funciona. Como funcionam os fitoquímicos. Disponível em: <http://saude.hsw.uol.com.br/fitoquimicos.htm>. Acesso em: 20 fev. 2013.

[37] Site Musculação e Cia. Chá Verde, ótimo queimador de gorduras. Disponível em: <http://www.musculacaoecia.com.br/cha-verde-otimo-queimador-de-gordura/>. Acesso em: 20 fev. 2013.

[38] Site Geocities. Potencial dos Biopesticidas. Disponível em: <http://www.geocities.ws/tvidaurre/Potbiopest.html>. Acesso em: 21 fev. 2013.

[39] DEQUI- UFRS - Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Qual o futuro da engenharia química? Disponível em: <http://www.enq.ufrgs.br/sobre/o-que-e-engenharia-quimica/qual-o-futuro-daengenharia-quimica>. Acesso em: 21 fev. 2013.

[40] Câmara Federal. Projeto de Lei que define as diretrizes do Programa Brasileiro de Ecologia Molecular para o Uso Sustentável da Biodiversidade da Mata Atlântica, da Zona Costeira e Marítima, da Amazônia, e outros Biomas Nacionais, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/sileg/integras/123831.doc>. Acesso em: 22 fev. 2013.

[41] Petrozone – Zona de Negócios da Indústria do Petróleo. Fontes de energias alternativas. Disponível em: <http://www.petrozone.com.br/news/show/id/169>. Acesso em: 22 fev. 2013.

[42] Site Brasil Nosso. Matriz elétrica do Brasil. Disponível em: <brasilnosso.wordpress.com>. Acesso em: 22 fev. 2013.

[43] SolarPlants. Matriz Mundial e Brasileira. Disponível em: <http://www.solarplants.com.br/energias/detalhes/id/5>. Acesso em: 22 fev. 2013.

Capítulo 16

[1] CARVALHO, Geila Santos. Lixo: consequências, desafios e soluções. Disponível em: <http://www.cenedcursos.com.br/lixo-consequencias-desafios-e-solucoes.html>. Acesso em: 20 jul. 2012.

[2] NOGUEIRA, Manoel Fernandes Martins. Prospecção tecnológica: Mudança do Clima. Estudo 5 - Ferramentas: Estudo de Ciência, Tecnologia e Inovação – Estudo de Tecnologias. Disponível em: <cgee.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2012.

[3] HENRIQUES, Rachel Martins, et al. Geração de Energia com Resíduos Sólidos Urbanos: Análise Custo Benefício.

Capítulo 17

[1] ROAF. S; CRICHTON. D; NICOL. F. Adapting buildings and cities for climate change. 2005. Acesso em: 16 abr. 2012.

[2] CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Guia de Sustentabilidade na Construção. Belo Horizonte: FIEMG, 2008. Disponível em:

<http://www.ambiente.sp.gov.br/municipioverdeazul/DiretivaHabitacaoSustentavel/GuiaSustentabilidadeSindusConMG.pdf.>. Acesso em: 18 abr. 2012.

[3] INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DA HABITAÇÃO ECOLÓGICA (IDHEA). Construção Sustentável. Disponível em: <http://www.idhea.com.br/construcao_sustentavel.asp.>. Acesso em: 16 abr. 2012.

[4] TECNOLOGIAS PARA CONSTRUÇÃO HABITACIONAL MAIS SUSTENTÁVEL. Documento 5: Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica. Projeto Finep 2386/04. São Paulo, SP. 2007. Acesso em: 18 abr. 2012.

[5] BREEAM. BREEAM New Construction, Non-Domestic Buildings. Technical Manual. 2011. Acesso em: 19 abr. 2012.

[6] GREENPEDIA. BREEAM – Certificação de Edifícios Verdes. Disponível em: <http://greenpedia.greenvana.com/termos/breeam-certificacao-de-edificios-verdes/202>. Acesso em: 19 abr. 2012.

[7] GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. Certificação Leed. Disponível em: <http://www.gbcbrasil.org.br/?p=certificacao>. Acesso em: 20 abr. 2012.

[8] MUNDO DA SUSTENTABILIDADE. Cenário da Construção Civil e Conceito de Construção Sustentável. Disponível em: <http://sustentabilidades.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=43&Itemid=57>. Acesso em: 20 abr. 2012.

[9] FUNDAÇÃO VANZOLINI. Alta Qualidade Ambiental em seu Empreendimento, Benefícios. Disponível em: <http://www.vanzolini.org.br/conteudo_77.asp?cod_site=77&id_menu=808>. Acesso em: 20 abr. 2012.

[10] SOLUÇÕES CAIXA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Selo Casa Azul CAIXA. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/popup/Generico/700x450_1.asp>. Acesso em: 24 abr. 2012.

[11] GUIA CAIXA Sustentabilidade Ambiental. Selo Casa Azul – Boas Práticas para Habilitação mais Sustentável. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Selo_Casa_Azul_CAIXA_versao_web.pdf. 2010.>. Acesso em: 26 abr. 2012.

[12] ARCOWEB. Etiqueta de Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: <http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/procel-edifica-etiqueta-de-11-12-2009.html. 2009.> Acesso em: 26 abr. 2012.

[13] REVISTA TÉCHNE. 40 Perguntas – Certificações. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/162/imprime185685.asp.>. Acesso em: 27 abr. 2012.

[14] GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. Leed. Disponível em: <http://www.gbcbrasil.org.br/?p=certificacao>. Acesso em: 27 abr. 2012.

[15] EDITORA ABRIL. Planeta sustentável: Quanto custa certificar? Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/quanto-custa-certificar-selos-greenbuilding-edificios-628990.shtml?func=1&pag=1&fnt=9pt. 2012>. Acesso em: 27 abr. 2012.

[16] GLOBO G1 Economia. Como atrativo ambiental e econômico, sobe busca de 'selo verde' em prédios. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/noticia/2012/03/com-atrativo-ambiental-e-economico-sobe-busca-de-selo-verde-em-predios.html. 2012.> Acesso em: 29 abr. 2012.

[17] CICLO VIVO. Construções já existentes também podem se tornar sustentáveis. Disponível em: <http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/1598/construcoes_ja_existentes_tambem_podem_se_tornar_sustentaveis/. 2010>. Acesso em: 30 abr. 2012.

[18] CICLO VIVO. Câmara Municipal se tornará um prédio sustentável. Disponível em: <http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/2854/palacio_anchieta_um_predio_sustentavel/. 2011>. Acesso em: 1 mai. 2012.

[19] CICLO VIVO. Os 10 maiores exemplos de arquitetura sustentável no mundo. Disponível em: <http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/1127/os_10_maiores_exemplos_de_arquitetura_sustentavel_do_mundo/. 2010>. Acesso em: 3 mai. 2012.

[20] CICLO VIVO. As obras mais sustentáveis no mundo. Disponível em: <http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/1036/as_obras_mais_sustentaveis_do_mundo/. 2010>. Acesso em: 4 mai. 2012.

[21] CICLO VIVO. Relatório Estádios Solares – Opção Sustentável para a Copa 2014 no Brasil. Disponível em: <http://www.ciclovivo.com.br/media/relatorio_ciclo_15022011.pdf. 2010>. Acesso em: 10 mai. 2012.

[22] CICLO VIVO. Estádio Nacional de Brasília quer ser um dos mais sustentáveis do mundo. Disponível em: <http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/3809/estadio_nacional_de_brasilia_quer_ser_um_dos_mais_sustentaveis_do_mundo/. 2011>. Acesso em: 14 mai. 2012.

Capítulo 18

[1] AMBIENTALISTAS EM REDE. 60% dos municípios brasileiros não dão destino adequado aos resíduos sólidos. (s.d.). Disponível em: <http://ambientalistasemrede.wordpress.com/2012/05/21/60-dos-municipios-brasileiros-nao-dao-destino-adequado-aos-residuos-solidos/&docid=wrdfeTdI8l9Z2M&imgurl>. Acesso em: 28 set. 2012.

[2] SEBRAE. (s.d.). Uso de Resíduos e Dejetos como Fonte de Energia Renovável. Disponível em: <http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/1444A5CABEE102E383257428004FDF09/$File/NT0003768A.pdf>. Acesso em: 10 set. 2012.

[3] Morais, E. (s.d.). Faculdades Integradas de Jacarepagua. O Lixo de Rio Maria e as Consequências na Saúde Pública. Disponível em: <http://sigplanet.sytes.net/nova_plataforma/monografias../2383.pdf>. Acesso em: 11 set. 2012.

[4] SEBRAE. (junho de 2006). Manual de Gerenciamento de Resíduos. Disponível em: <http://201.2.114.147/bds/bds.nsf/DCD795F87D589C3D832573D3004DF067/$File/NT0003744E.pdf>. Acesso em: 13 set. 2012.

[5] O Lixo e o Meio Ambiente - Panorama Internacional. (s.d.). Usina Verde. Disponível em: <http://www.usinaverde.com.br/lixoemeioambiente.php?cod=2152313A-ACA1-D5D1-D9CF-D81528495D55>. Acesso em: 10 set. 2012.

[6] Oliveira, L. B., Reis, M. M., & Pereira, A. S. (s.d.). Resíduos Sólidos Urbanos: Lixo ou Combustível?. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-007.pdf>. Acesso em: 3 set. 2012.

[7] Bio Gil Mendes. (s.d.). . Disponível em: <http://biogilmendes.blogspot.com/2011/05/sites-com-informacoes-sobre-reciclagem.html&docid=0Hnvv0WX0I-r3M&imgurl=>. Acesso em: 17 set. 2012.

[8] O que é compostagem. (s.d.). Disponível em: <http://www.cmseixal.pt/CMSEIXAL/AMBIENTE/Project_Pages/09AMB_Pro_Compostagem01>. Acesso em: 17 set. 2012.

[9] UNESP. Formas de disposição de resíduos. (s.d.). Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res13.html>. Acesso em: 14 set. de 2012.

[10] Waste-to-Energy Conversion Routes. (s.d.). Cleantech Solutions. Disponível em: <http://www.cleantechloops.com/waste-to-energy-pathways/>. Acesso em: 14 set. 2012.

[11] Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil. (s.d.). Disponível em: <http://www.prpg.usp.br/usprio/?q=trabalhos/gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-partir-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-urbanos-avalia%C3%A7%C3%A3o-e-diretrizes-para-tecnolog>. Acesso em: 14 set. 2012.

[12] Cempre. (s.d.). Política Nacional de Resíduos Sóidos. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/download/pnrs_002.pdf>. Acesso em: 11 set. 2012.

[13] Abrelpe. (s.d.). Panorama dos Resíduos Sòlidos no Brasil 2011. Disponível em: <http://www.jbrj.gov.br/a3p_site/pdf/ABRELPE%20Panorama%202001%20RSU-1.pdf>. Acesso em: 10 set. 2012.

[14] Morgado, T. C., & Ferreira, O. M. (s.d.). Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, Aproveitamento na Cogeração de Energia. Estudo para a Região Metropolitana de Goiânia. Disponível em: <http://www.funverde.org.br/blog/wp-content/uploads/2011/11/incineracao-de-residuos-solidos-urbanos.pdf>. Acesso em: 11 set. 2012.

[15] Henriques, R. M. (s.d.). Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/2363836/Aproveitamento-energetico-lixo-urbano>. Acesso em: 12 set. 2012.

[16] Leme, M. M. (s.d.). UNIFEI. Avaliação das Opções Tecnológicas para Geração de Energia a Partir dos Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso. Disponível em: <http://adm-net-a.unifei.edu.br/phl/pdf/0037110.pdf>. Acesso em: 4 set. 2012.

[17] A Energia que Vem do Lixo. (s.d.). Univesp. Disponível em: <http://www.univesp.ensinosuperior.sp.gov.br/preunivesp/media/upload/lixo.swf>. Acesso em: 24 set. 2012.

[18] Gonçalves, A. T. (2007). UNIFEI. Potencialidade Energética dos Resíduos Sólidos Domiciliares e Comerciais do Município de Itajubá - MG. Disponível em: <http://www.professoralexandre.unifei.edu.br/Mestrado/Andriani.pdf>. Acesso em: 12 set. 2012.

[19] Dejetos da pecuária poderiam gerar energia para 4,5 milhões de pessoas. (s.d.). Qualidade Animal. Disponível em: <http://www.qualidadeanimal.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=110:dejetos-da-pecuaria-poderiam-gerar-energia-para-45-milhoes-de-pessoas-&catid=1:latest-news&Itemid=50>. Acesso em: 18 set. 2012.

[20] Valorização Energética dos Resíduos Derivados do Sector Pecuário. (s.d.). Universidade Metodista de Angola. Disponível em: <http://www.ela.uevora.pt/download/ELA_politicas_tecnologias_05.pdf>. Acesso em: 14 set. 2012.

[21] Colatto, L., & Langer, M. (2011). Biodigestor - resíduo sólido pecuário para geração de energia. Unoesc & Ciência – ACET. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=3&ved=0CEAQFjAC&url=http%3A%2F%2Feditora.unoesc.edu.br%2Findex.php%2Facet%2Farticle%2Fdownload%2F738%2Fpdf_203&ei=QdRpUJjgE4-08ASo7oGgCQ&usg=AFQjCNEAN7P0AZt6DoOydrAZxWAzYybwwg&sig2=O6e8>. Acesso em: 17 set. 2012.

[22] Manual de Treinamento em Biodigestão. (s.d.). IDER. Disponível em: <http://wp2.oktiva.com.br/ider/files/2010/01/16.Manual-de-Treinamento-em-Biodigestao.pdf>. Acesso em: 18 set. 2012.

[23] Palovatto. (s.d.). UFSM. Manejo de dejetos. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/suinos/CAP9_dej.pdf>. Acesso em: 17 set. 2012.

[24] Emissão de metano pela pecuária. (s.d.). Embrapa. Disponível em: <http://www.socioambiental.org/banco_imagens/pdfs/magda_lima.pdf>. Acesso em: 17 set. 2012.

[25] WIKIPÉDIA. Biodigestor anaeróbico. (s.d.). Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Biodigestor_anaer%C3%B3bico>. Acesso em: 18 set. 2012.

[26] CHARLESAD. Biodigestores ajudando o meio ambiente. (s.d.). Disponível em: <http://charlesad.blogspot.com/2011/05/biodigestores-ajudando-o-meio-ambiente.html&docid=JpWRfTGBEoqV4M&imgurl>. Acesso em: 24 set. 2012.

[27] Silva, T. P. (s.d.). Análise de Riscos Ambientais em Sistemas de Tratamento de Efluentes com Biodigestores em uma Suinocultura de Grande Porte. UFMT. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=tratamento%20de%20efluentes%20liquidos%20biodigestores&s

our-
ce=web&cd=12&cad=rja&ved=0CEEQFjABOAo&url=http%3A%2F%2Feest.phza.net%2Findex.php%3Foption%3Dcom_docman%26task%3Ddoc_download%26gid%3D355%26Itemid%3D17&ei>. Acesso em: 26 set. 2012.

[28] BIODIESELBR. Biodigestor. (s.d.). Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biodigestor.htm>. Acesso em: 17 set. 2012.

[29] CERPCH. Biodigestor. (s.d.). Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/biodigestor.php>. Acesso em: 20 set. 2012.

[30] EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM AÇÃO. Fundamentos de Implantação de Biodigestores em Propriedades Rurais. (s.d.). Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1248&class=02>. Acesso em: 20 set. 2012.

[31] INBRADESS. Caracterização da biomassa residual proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia. (s.d.). Disponível em: <http://inbradess.org.br/wp-content/uploads/2012/01/t06.pdf>. Acesso em: 20 set. 2012.

[32] Cortez, Luís A.B., B., Sérgio W., B., & Oscar. (s.d.). UNB. Uso de Resíduos Agrícolas para Fins Energéticos: o caso da palha de cana-de-açúcar. Disponível em: <http://vsites.unb.br/fav/renova/artigocortez.doc>. Acesso em: 24 set. 2012.

[33] CENBIO. (2008). Atlas de Bioenergia do Brasil. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/download/atlas_cenbio.pdf>. Acesso em: 21 set. 2012.

[34] Oliveira, L. G. (2011). UFRJ. Aproveitamento Energético de Resíduos Agrícolas - O Caso da Agroeletricidade Distribuída. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/luiz_oliveira.pdf>. Acesso em: 21 set. 2012.

[35] RICARDO ALFONSIN ADVOGADOS. 1ª usina de etanol celulósico sai até 2013. (2012). Disponível em: <http://alfonsin.com.br/1-usina-de-etanol-celulsico-sai-at-2013/>. Acesso em: 21 set. 2012.

[36] Pinto, D. P. (s.d.). UFRJ. Contribuição à Avaliação de Aterros de Resíduos Industriais. Disponível em: <http://www.getres.ufrj.br/pdf/PINTO_DPS_11_T_M_.pdf>. Acesso em: 27 set. 2012.

[37] FEAM. (Dezembro de 2008).UFOP. Inventário de Resíduos Sólidos Industriais Minas Gerais. Disponível em: <http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/inventario_de_residuos_corrigido1_255b1_255d.pdf>. Acesso em: 28 set. 2012.

[38] CIMM. Resíduos Sólidos Industriais. (s.d.). Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3668-residuos-solidos-industriais>. Acesso em: 27 set. 2012.

[39] CETREL LUMINAS. Coprocessamento de Resíduos. (s.d.). Disponível em: <http://www.cetrel-lumina.com.br/cooprocessamento.asp>. Acesso em: 27 set. 2012.

[40] OLIVEIRA, C. A., & DANIEL, L. A. (s.d.). Redução de Efluentes Líquidos Industriais: Medida de Prevenção à Poluição. BVSDE. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/bratar013.pdf>. Acesso em: 27 set. 2012.

[41] UFV. Características dos Efluentes Líquidos. (s.d.). Disponível em: <http://www.ufv.br/dea/lqa/caracteristicas.htm>. Acesso em: 27 set. 2012.

[42] CIMM. Efluentes Industriais. (s.d.). Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3669-efluentes-industriais>. Acesso em: 27 set. 2012.

[43] MATSUMOTO, T. (s.d.). Tecnologias de Tratamento de Efluentes. UNESP. Ddisponível em: <http://www.feis.unesp.br/eventos/palestrascivil/Tratamento_de_%20Efluentes.pdf>. Acesso em: 24 set. 2012.

[44] KURITA. Etapas de um Tratamento de Efluente. (s.d.). Disponível em: <http://www.kurita.com.br/adm/download/Etapas_do_Tratamento_de_Efluentes.pdf>. Acesso em: 27 set. 2012.

[45] Matsumoto, T. (s.d.). Tecnologias de Tratamento de Efluentes. UNESP. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/eventos/palestrascivil/Tratamento_de_%20Efluentes.pdf>. Acesso em: 10 out. 2012.

[46] ENGENHARIA E PROJETOS. Tecnologias para Tratamento de Esgotos Sanitários. (s.d.). Disponível em: <http://www.enge.com.br/esgoto_tecnologia.htm>. Acesso em: 27 set. 2012.

[47] CENBIO. Geração de Energia a partir do Biogás Gerado por Resíduos Urbanos e Rurais. (s.d.). Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/Nota%20t%E9cnica%20VII%20-%20biog%E1s.pdf>. Acesso em: 24 set. 2012.

[48] CENBIO. Utilização Energética do Biogás. (s.d.). Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/workshopbiotop/biotop_vanessagarcilasso.pdf>. Acesso em: 27 set. 2012.

[49] CETESB. Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo Manejo de Resíduos. (s.d.). Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima/file/publicacoes/inventarios/portugues/inventario_de_residuos_brasil.pdf>. Acesso em: 27 set. 2012.

[50] EBAH. Tratamento de Efluentes Líquidos. (s.d.). Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA1MUAI/tae-vii>. Acesso em: 27 set. 2012.

[51] Vidal, A. C., & Hora, A. B. (s.d.). Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. BNDES. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3308.pdf>. Acesso em: 25 set. 2012.

[52] ENVOLVERDE. No Brasil, 60% do carvão vegetal é oriundo de florestas nativas. (s.d.). Disponível em: <http://envolverde.com.br/noticias/no-brasil-60-do-carvao-vegetal-e-oriundo-de-florestas-nativas/>. Acesso em: 24 set. 2012.

[53] Brito, J. O. (2007). SCIELO. O uso energético da madeira. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a14v2159.pdf>. Acesso em: 24 set. 2012.

[54] Vidal, A. C., & Hora, A. B. (s.d.). Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. BNDES. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3308.pdf>. Acesso em: 25 set. 2012.

[55] EMPRABA. Cultivo de Eucalipto. (s.d.). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/01_Importancia_economica.htm>. Acesso em: 26 set. 2012.

[56] SILVIMINAS. O eucalipto, felizmente existe. (2009). Disponível em: <http://www.silviminas.com.br/Publicacao/Arquivos/publicacao_179.pdf>. Acesso em: 24 set. 2012.

[57] PUENTES, R. S. (2010). Expansão das Florestas Plantadas com Fins Energéticos no Brasil e sua Influência nas Emissões dos Gases de Efeito Estufa. UFRJ. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/renzo_puentes.pdf>. Acesso em: 24 set. 2012.

[58] INFOENER. Cana-de-açúcar no Brasil. (s.d.). Disponível em: <http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_cana.asp>. Acesso em: 25 set. 2012.

[59] Lopes, B. A. (Maio de 2004). Forragicultura e Pastagens. O capim-elefante. Disponível em: <http://www.forragicultura.com.br/arquivos/capimelefanteBruna.pdf>. Acesso em: 24 set. 2012.

[60] AGRONOMIA. Capim Elefante: Paraíso na Geração de Energia. (s.d.). Disponível em: <http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_capim_elefante_paraiso_geracao_energia.htm>. Acesso em: 25 set. 2012.

[61] BIODIESELBR. Biodiesel de soja emite 57% menos poluentes que diesel, dizem EUA. (2010). Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/biodiesel-soja-emite-57-menos-poluentes-diesel-eua-090210.htm>. Acesso em: 24 set. 2012.

[62] CONHECER. Vários. (2010). Obtenção de Biodiesel a partir de Óleo de Soja e Milho Utilizando Catalisadores Básicos e Catalisador Ácido. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/obtencao.pdf>. Acesso em: 24 set. 2012.

[63] Ciência Hoje. Domínio da Soja. (s.d.). Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2011/06/dominio-da-soja>. Acesso em: 26 set. 2012.

[64] Domingues, M. S. (2010). Avaliação da monocultura de soja como matéria-prima para a produção de biodiesel e sua relação com o desmatamento da floresta amazônica: estudo de caso na Região de São José do Xingu (MT). USP. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-26082010-200853/pt-br.php>. Acesso em: 24 set. 2012.

[65] CI FLORESTAS. Energia que Vem do Eucalipto. (s.d.). Disponível em: <http://www.ciflorestas.com.br/conteudo.php?id=1752>. Acesso em: 24 set. 2012.

[66] FOCUS VISÃO BRASIL. Florestas Plantadas: Conciliando a Produção com a Conservação. (s.d.). Disponível em: <http://www.visaobrasil.org/wp-content/uploads/2010/09/focus_julho2010_florestas.pdf>. Acesso em: 26 set. 2012.

[67] MMA - Ministério do Meio Ambiente. Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável. (s.d.). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf>. Acesso em: 14 set. 2012.

[68] ÉPOCA NEGÓCIOS. O capim que gera energia. (s.d.). Disponível em: <http://epocanegocios.globo.com/Revista/Common/0,,ERT131148-16368,00.html>. Acesso em: 25 set. 2012.

[69] Cabral, G. B., Lopes, G. A., & Bragatto, J. (s.d.). Análise Comparativa entre o Etanol de Cana de Açúcar e o Etanol Celulósico. CENA USP. Disponível em: <http://apostilas.cena.usp.br/Cerri/Seminarios/Etanol%20cana%20e%20celulose.pdf>. Acesso em: 18 set. 2012.

[70] BVSDE. Vários. (s.d.). Estudo da Geração de Energia a partir dos Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-045.pdf>. Acesso em: 4 set. 2012.

[71] FIESP. (Setembro de 2009). Panorama sobre Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/arquivos/2009/eventos_cursos/brasil_dinamarca/rs.pdf>. Acesso em: 9 out. 2012.

[72] IBLIOGRAPHY. Classificação dos resíduos. (s.d.). UNESP. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res07.html>. Acesso em: 10 out. 2012.

[73] SCIELO. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. (2005). Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162007000100004&script=sci_arttext>. Acesso em: 10 out.2012.

[74] ECODEBATE. Hendges, A. S. (2012). Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Agrossilvopastoris no Brasil. Disponível em: <http://www.ecodebate.com.br/2012/02/07/diagnostico-dos-residuos-solidos-agrossilvopastoris-no-brasil-parte-1-organicos-artigo-de-antonio-silvio-hendges/>. Acesso em: 11 out. 2012.

[75] SCIELO. Vários. (s.d.). Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n4/2650.pdf>. Acesso em: 11 out. 2012.

Capítulo 19

[1] SETOR RECICLAGEM. Primeiro forno de plasma do Brasil. (29 de Junho de 2006). Disponível em: <http://www.setorreciclagem.com.br/modules.php?name=News&file=print&sid=474>. Acesso em: 1 mar. 2012.

[2] HOWSTUFFWORKS. Conversor de Plasma. (2007). Disponível em: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/conversor-de-plasma2.htm>. Acesso em: 2 mar. 2012.

[3] EASTERN IOWA GOVERNMENT. Legislature adds Plasma Gasification as Alternate Energy. (Maio de 2011). Disponível em: <http://easterniowagovernment.com/2011/05/09/legislature-adds-plasma-gasification-as-alternate-energy/>. Acesso em: 1 mar. 2012.

[4] SILCON AMBIENTAL. Emprego de plasma térmico surge como alternativa para dar cabo de resíduos sólidos no Brasil. (6 de Fevreiro de 2012). Disponível em: <http://www.silcon.com.br/2012/02/06/emprego-de-plasma-termico-surge-como-alternativa-para-dar-cabo-de-residuos-solidos-no-brasil/>. Acesso em: 5 mar. 2012.

[5] Angeles, P. J. (30 de Abril de 2003). Estudo das tochas de plasma através da teoria da similaridade. Universidade Estadual de Campinas, Tese de Mestrado. Disponível em: <http://webbif.ifi.unicamp.br/tesesOnline/teses/IF1374.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2012.

[6] PATENTES ONLINE. Bioconversor de resíduos a plasma. (s.d.). Disponível em: <http://www.patentesonline.com.br/bioconversor-de-residuos-a-plasma-245288.html>. Acesso em: 19 mar. 2012.

[7] ECOVIAGEM. Brasil inaugura primeira planta de plasma do mundo. (s.d.). Disponível em: <http://ecoviagem.uol.com.br/noticias/ambiente/reciclagem/brasil-inaugura-primeira-planta-de-plasma-do-mundo-5537.asp>. Acesso em: 1 mar. 2012.

[8] Cubas, A. (s.d.). O manejo de resíduos, a gestão ambiental e a sustentabilidade. JELARE. Disponível em: <http://www.jelare-project.eu/Downloads/panorama-brazil2/presentations/5_JELARE_Manej_%20de_Residuos.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2012.

[9] Dodge, E. (Julho de 2008). Plasma-Gasification of Waste. Disponível em: <http://orangecountyvoice.org/images/PlasmaGasificationofWaste_Dodge.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2012.

[10] Dodge, E. (s.d.). Gaseificação a Plasma: combustível renovável limpo através de vaporização dos resíduos. Waste management world. Disponível em: <http://www.waste-management-world.com/index/display/article-display/368649/articles/waste-management-world/volume-10/issue-4/features/plasma-gasification-clean-renewable-fuel-through-vaporization-of-waste.html>. Acesso em: 2 mar. 2012.

[11] Ducharme, C. (s.d.). Technical and economic analysis of Plasma-assisted Waste-to-Energy processes. Disponível em: <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/ducharme_thesis.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2012.

[12] DuTemp Corporation. (s.d.). Plasma Arc Science and Technology. Disponível em: <http://dutemp.com/plasma_arc/plasma_tech.html>. Acesso em: 16 mar. 2012.

[13] Felipini, C. (2005). Noções sobre plasma térmico e suas prinicipais aplicações. Disponível em: <ftp://ftp.usjt.br/pub/revint/147_41.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2012.

[14] Foratto, G. (s.d.). Novas Tecnologias de Gerenciamento de Resíduos. 1º Seminário sobre Gestão Ambiental Portuária. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/Palestras/ISeminarioGAP2011/GersonForatto.pdf>. Acesso em: 1 mar.

2012.

[15] Governo debate alternativas para o tratamento do lixo urbano . (s.d.). Lixo e cidadania. Disponível em: <http://www.lixoecidadania.org/index.php?option=com_content&view=article&id=50:governo-debate-alternativas-para-o-tratamento-do-lixo-urbano&catid=42:materias&Itemid=54>. Acesso em: 1 mar. 2012.

[16] Hendges, A. (31 de Outubro de 2011). Tecnologias aplicáveis aos resíduos sólidos. EcoDebate. Disponível em: <http://www.ecodebate.com.br/2011/10/31/tecnologias-aplicaveis-aos-residuos-solidos-artigo-de-antonio-silvio-hendges/>. Acesso em: 27 fev. 2012.

[17] NA RAIZ. Itabirito - MG fará enregia com o lixo. (s.d.). Disponível em: <http://naraiz.wordpress.com/2011/02/.../itabirito-mg-fara-energia-com-lixo>. Acesso em: 1 mar. 2012.

[18] Maciel, H. (s.d.). Aplicações de Plasmas em Sistemas Energéticos. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Disponível em: <http://evfita.ita.br/evfita2008/local_arquivos/Homero%20-%20III%20EVFITA.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2012.

[19] Marchezetti, A. L. (s.d.). Avaliação de Alternativas Tecnológicas para o Tratamento de Resíduos Sólidos Domiciliares pela Aplicação do Método AHP. Estudo de Caso da Região Metropolitana de Curitiba. Disponível em: <http://www.ppgerha.ufpr.br/dissertacoes/files/157-Ana_Lucia_Marchezetti.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2012.

[20] Medeiros, O. (s.d.). Alternativas de Ultimação de Resíduo Plástico Termofixo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://bdtd.bczm.ufrn.br/tedesimplificado/tde_arquivos/25/TDE-2007-08-22T033629Z-811/Publico/OtonielMM.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2012.

[21] PG rated. (s.d.). Waste management world. Disponível em: <http://www.waste-management-world.com/index/display/article-display/9757557571/articles/waste-management-world/volume-11/issue-1/features/pg-rated.html>. Acesso em: 13 mar. 2012.

[22] GUIA DE REFERÊNCIA. Plasma. (s.d.). Disponível em: <http://www.guia.heu.nom.br/plasma.htm>. Acesso em: 28 fev. 2012.

[23] DUTEMP CORPORATION. Plasma Arc Science and Technology. (s.d.). Disponível em: <http://dutemp.com/plasma_arc/plasma_tech.html>. Acesso em: 16 mar. 2012.

[24] MYBELOJARDIM. Plasma Gaseificação Tecnologia: Transformando Lixo em Green-Bio-Combustíveis - Parte I. (s.d.). Disponível em: <http://mybelojardim.com/plasma-gaseificacao-tecnologia-transformando-lixo-em-green-bio-combustiveis-de-alta-qualidade-parte-i/>. Acesso em: 1 mar. 2012.

[25] WASTE MANAGEMENT WORLD. Plasma gasification: Clean renewable fuel through vaporization of waste. (s.d.). Disponível em: <http://www.waste-management-world.com/index/display/article-display/368649/articles/waste-management-world/volume-10/issue-4/features/plasma-gasification-clean-renewable-fuel-through-vaporization-of-waste.html>. Acesso em: 28 fev. 2012.

[26] ALTER NRG. Plasma Market Solutions. (s.d.). Disponível em: <http://alternrg.com/plasma_market_solutions/energy_from_waste/environmental_benefits>. Acesso em: 14

mar. 2012.

[27] Plasma Pirólise. (s.d.). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~jotace/gtresiduos/plasmapirolise.htm>. Acesso em: 14 mar. 2012.

[28] Plasma Térmico – solução final para os resíduos perigosos. (s.d.). Disponível em: <http://www.centrovegetariano.org/Article-285-Plasma%2BT%25E9rmico%2B%2596%2Bsolu%25E7%25E3o%2Bfinal%2Bpara%2Bos%2Bres%25EDduos%2Bperigosos.html>. Acesso em: 28 fev. 2012.

[29] PATENTES ONLINE. Processo para tratamento de resíduos sólidos baseado em reator com tecnologia de plasma vortex. (s.d.). Disponível em: <http://www.patentesonline.com.br/processo-para-tratamento-de-residuos-solidos-baseado-em-reator-com-tecnologia-de-188409.html>. Acesso em: 19 mar. 2012.

[30] Instituto Nacional de Pesquisas – INPE. Processos a Plasma. (s.d.). Disponível em: <http://www.plasma.inpe.br/LAP_Portal/LAP_Sitio/Texto/Processos_a_Plasma.htm>. Acesso em: 28 fev. 2012.

[31] Soluções Inovadoras e Sensíveis Na Transformação de Lixo em Energia. Quantum Solutions Technology Ventures Inc. (s.d.). Disponível em: <http://www.unibioagroenergia.com.br/down/QSTV%20W2E%20Portugues-Genesis%201,%202,%203.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2012.

[32] Tavares, I. d. (Março de 2011). Parecer Técnico Científico sobre Processo Hannover para Produção de Energia a partir da Inertização de Resíduos. Laboratório de Análise de Resíduos. Disponível em: <https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:bxE0xBl-HukJ:www.antaq.gov.br/portal/pdf/Palestras/ISeminarioGAP2011/ParecerTecnicoUERJLAR.pdf+gasefica%C3%A7%C3%A3o+por+plasma+processo+de+inertiza%C3%A7%C3%A3o+dos+residuos&hl=pt-BR&gl=br&pid=bl&srcid=ADGEEShPr>. Acesso em: 19 mar. 2012.

[33] PORTAL QUÍMICA. Tecnologia Ambiental. (s.d.). Disponível em: <http://www.quimica.com.br/revista/qd441/tecnologia1.html>. Acesso em: 28 fev. 2012.

[34] Tocchetto, M. (s.d.). Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais. Disponível em: <http://marta.tocchetto.com/site/?q=system/files/Gest%C3%A3o+Ambiental+-+Parte+1.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2012.

[35] Tochetto, M. (s.d.). Universidade Federal de Santa Marias. Tratamento Térmico. Disponível em: <http://marta.tocchetto.com/site/?q=system/files/Quimica+Industrial+-+Tratamento+Termico+-+Parte+1.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2012.

[36] Science Council for Global Initiatives. Top 10 Facts about the Plasma Gasification of Municipal Solid Wastes. (s.d.). Disponível em: <http://www.thesciencecouncil.com/louis-j-circeo/70-top-10-facts-about-the-plasma-gasification-of-municipalwaste.html>. Acesso em: 5 mar. 2012.

[37] UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. (Março de 2011). Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/Palestras/ISeminarioGAP2011/ArtigoTecnologiaPlasmaUERJLAR.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2012.

[38] Viana, V. (s.d.). Gerenciamento de resíduos sólidos. Centro Universitário Plínio Leite. Disponível em: <http://d.yimg.com/kq/groups/24036475/631047340/name/GERENCIAMENTO+DE+RESIDUOS+SOLIDOS_Parte+1-.pdf.>. Acesso em: 20 mar. 2012.

Capítulo 20

[1] SCHWARTZ,PETER. A Arte da visão de longo prazo. Caminho das letras 2000.

[2] BUARQUE, SÉRGIO C. Metodologia e Ténicas de Construção de Cenários Globais e Regionais. Brasília, 2003.

[3] MARCIAL, ELAINE C. Aplicação de Metodologia de Cenários no Banco do Brasil no Contexto da Inteligência Competitiva. Dissertação de DEA. Université de Droite et dês Sciences d'Aix Marseille, 1999.

[4] Energy Techonology Perspectives – Scenarios and Strategies to 2050. OECD/IEA – International Energy Agency, 2008.

[5] Shell Energy Scenarios to 2050. Royal Dutch Shell, 2008.

[6] Plano Nacional de Energia – 2030, v.2. Ministério de Minas e Energia ; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . Brasília, 2007.

[7] Matriz Energética de Minas Gerais 2007-2030. COPPE/UFRJ:PPE, UNIFEI. 2007.

[8] OECD/IEA, 2011. Disponível em: <http://www.iea.org>.

[9] OECD/IEA, 2010. World Energy Model – Methodology and Assumptions.

[10] World Energy Council, 2011.Disponível em: <http://www.worldenergy.org>.

[11] Deciding the Future: Energy Policy Scenarios to 2050. World Energy Council, 2007.

[12] COPPE/UFRJ. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe.php>.

[13] Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2019. Brasília, 2010.

[14] ZERVOS, Arthouros. Status and perspectives of wind energy. Lübeck, Alemanha, 2008.

[15] CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Energias do Futuro – Relatório Final. Brasília, 2008.

Capítulo 21

[1] ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=4115&id_area=>. Acesso em: 01 mar. 2012.

[2] Instituto ABRADEE de Energia. Disponível em: <http://www.abradee01.org/uploader/Rel_01_Locacional_MCeE_1007.pdf.>. Acesso em: 01 mar. 2012.

[3] ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/NT_%20066_%20ANEXOS_TUST_2011-2012_(2).pdf.>. Acesso em: 01 mar. 2012.

[4] Harada, Kiyoshi ; Tributos incidentes sobre produção e circulação de energia elétrica. Disponível em: http://www.haradaadvogados.com.br/publicacoes/Artigos/811.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2012.

[5] Índice de Custo Benefício (ICB) de Empreendimentos de Geração Termelétrica – EPE.

[6] Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2020.

[7] ONS - Custo variável das usinas térmicas utilizadas para a elaboração do PMO de Dezembro/11, semana operativa de 24/12 a 30/12/2011.

[8] CCEE. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/cceeinterdsm/v/index.jsp?vgnextoid=57ca9f733d60b010VgnVCM1000005e01010aRCRD>.. Acesso em: 12 mar. 2012.

[9] Dissertação de Mestrado; Setor Elétrico Brasileiro: Análise do Investimento de Capital em Usinas Termelétricas; Março de 2008; Dimitri Melo Rodrigues Martins, PUC-RJ.

[10] EPE. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20101217_1.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2012.

[11] Updated Capital Cost Estimates for Electricity Generation Plants – EIA.

[12] Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais - Rafael Amaral Shayani/ Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira/ Ivan Marques de Toledo Camargo.

[13] A Review of Solar Photovoltaic Levelized Cost of Electricity. K. Branker, M. J. M. Pathak, J. M. Pearce.

[14] Artigo Técnico: Avaliação de Usinas Hidrelétricas – Flávio Dutra Doehler – CEMIG.

[15] Diretrizes para projetos de PCH – ELETROBRAS.

[16] Riscoti, Juliana Ferrari Chade. Inserção da energia eólica no sistema hidrotérmico brasileiro.

Capítulo 22

[1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Roberto_Lobo.pdf>.

[2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3

ed. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 10 mai. 2011.

[3] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Matriz Energética Nacional 2030 / Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: Eletrobrás, 2007. p. 254: il. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 10 mai. 2011.

[4] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Decenal de Expansão de Energia 2006-2015 (PDE 2006-2015). Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: Eletrobrás, 2006. p. 328: il. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 10 de mai. 2011.

[5] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: Eletrobrás, 2007. p. 324: il. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 10 mai. 2011.

[6] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Disponível em: <http://www3.aneel.gov.br/empreendedor/empreendedor.htm>.

[7] Disponível em: <http://www.portalpch.com.br>.

[8] Disponível em: <http://www.oecd-ilibrary.org/energy/renewables-information-2003_9789264102286-en>.

[9] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Victor_Hugo.pdf>.

[10] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2010. Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: Eletrobrás, 2010. p. 271: il. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 10 de mai. 2011.

[11] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/EdicaoLivros2010relatorioaneel.cfm>.

[12] CEMIG. Disponível em: <http://cemig.infoinvest.com.br/relatorios_anuais/2009/index.html>.

[13] UNIFEI. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/>.

[14] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Leonardo_Clemente.pdf>.

[15] INTERNACIONAL ENERGY AGENCY (IEA). World Energy Outlook 2008 (WEO 2008). Disponível em: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/weo2008.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2011.

[16] PRESIDÊNCIA FEDERATIVA DO BRASIL. Legislação. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>.

[17] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Legislação. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>.

[18] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Decenal de Expansão de Energia 2010-2019 (PDE 2010-2019). Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: Eletrobrás, 2010. p. 328: il. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 10 de mai. 2011.

Apêndice

2016

SOMOS A CEMIG,
A SUA, A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

SOMOS A CEMIG, A SUA,
A NOSSA ENERGIA.

SOMOS UMA EMPRESA
QUE É MOTIVO DE
ORGULHO PARA
TODOS OS MINEIROS.

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

SOMOS A CEMIG, A SUA,
A NOSSA ENERGIA.

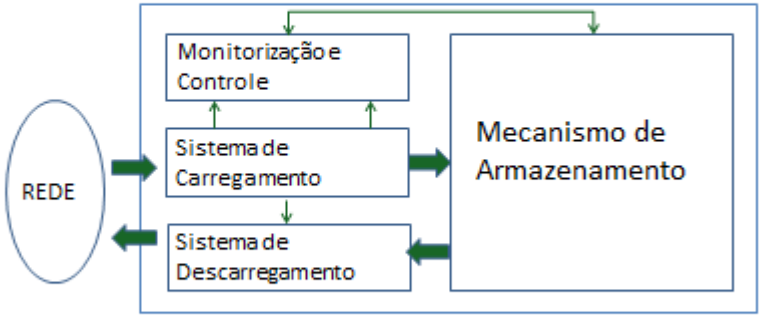
SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA – ESTADO DA ARTE

SOMOS O MAIOR GRUPO INTEGRADO DE ENERGIA DO BRASIL.

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA – ESTADO DA ARTE



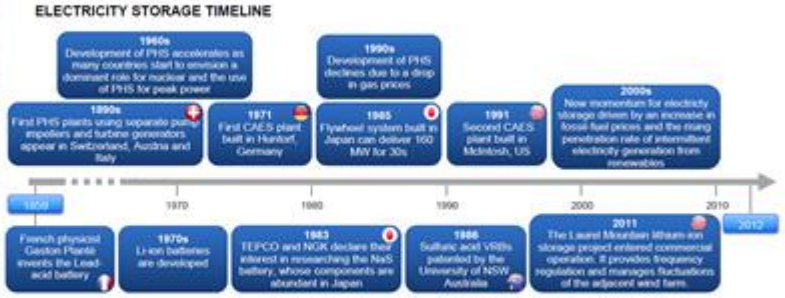
Fonte: PEREIRA, 2013.

CEMIG

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Histórico

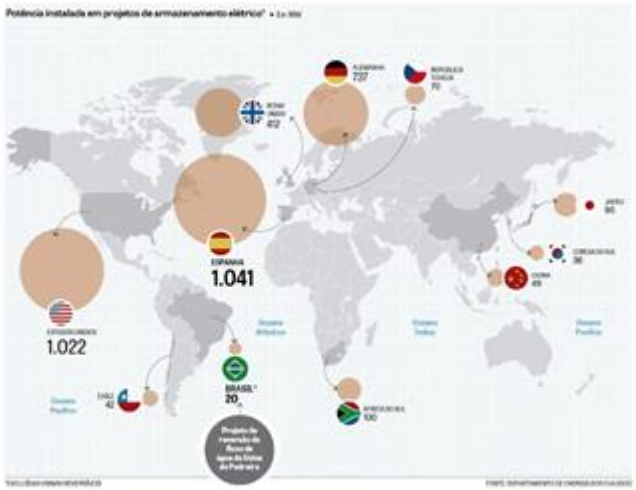


Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Potência Instalada – Mundo (146 GW)*



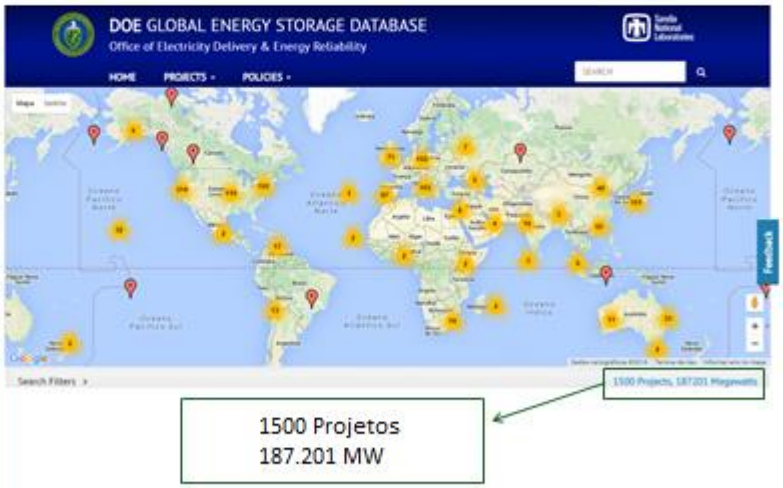
*Excluídas usinas reversíveis.

Fonte: **Sistema de armazenamento de energia chega ao País neste ano.** Disponível em: <http://www.dci.com.br/em-destaque/sistema-de-armazenamento-de-energia-chega-ao-pais-neste-ano-id522983.html>.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Potência Instalada – Mundo



1500 Projetos
187.201 MW

Fonte: **DOE GLOBAL ENERGY STORAGE DATABASE.** Disponível em: <http://www.energystorageexchange.org/projects>.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Potência Instalada – Brasil (20 GW)

1 Projeto – Bombeamento hídrico
Potência – 20 MW
Estado – São Paulo

Fonte: **DOE GLOBAL ENERGY STORAGE DATABASE.** Disponível em: <http://www.energystorageexchange.org/projects>.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Mecanismos de Armazenamento

ELÉTRICO: Supercondensadores; Supercapacitores; Supercondutores.	**ELETROQUÍMICO:** Baterias convencionais; de fluxo; Metal-ar[4].
CINÉTICO: Volantes de inércia (*Flywheels*).	**POTENCIAL:** Bombeamento de água; ar comprimido.
QUÍMICO: Hidrogênio; dissociação de amônia; gás natural sintético.	**TÉRMICO:** Aquecedores a água ou óleo, Sal fundido.

Fonte: MAZAROBA, 2012. ROSOLEM, 2015.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Características pesquisadas

Capacidade: Energia disponível após recarga [Wh];

Energia Disponível: Potência máxima de descarga [W];

Tempo de descarga: Razão entre a capacidade e Energia disponível [horas];

Durabilidade: Número de ciclos de carga/descarga ou anos de vida útil;

Autonomia: Tempo máximo que o sistema pode operar continuamente;

Densidade de energia: quantificação da capacidade de armazenamento de energia [Wh/m³];

Densidade de potência: quantificação em [W/m³];

Auto descarga: Porcentagem de energia perdida por dia;

Eficiência: Dada em porcentagem;

Custo: Qual investimento para utilizar de tal tecnologia.

Fonte: MAZAROBA, 2012. *SBC Energy Institute*, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

ELÉTRICA

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

SUPERCONDENSADORES

EDLC - *Electric Double Layer Capacitor*

Dois eletrodos fabricados com materiais porosos, área de contato elevada, um separador, imerso sob eletrólito.

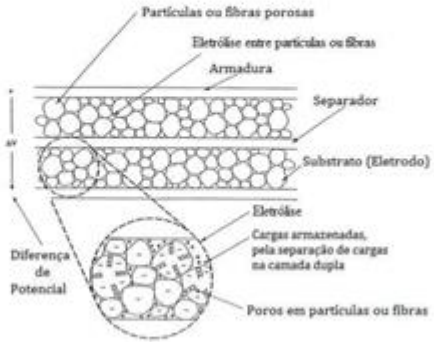


Figura 25 – Constituição de um EDLC e processo de carga [14].

Fonte: SILVA, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Supercondensadores

Características Avaliadas	
Aplicação	Podem trabalhar em diversos ambientes e temperaturas
Capacidade	Elevada
Energia Disponível	3 a 5 Wh/kg[1]
Tempo de descarga	(0,3x10-[1] a 0,3x10-[2])[1] Rápida devido a baixa resistência interna
Vida útil	8 a 10 anos
Nº Ciclos	10^6 - múltiplos
Densidade de energia	4000 Wh/Kg[1]
Eficiência	95%
Custo	Elevados

Fonte: 1 - SILVA, 2013. PEREIRA, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

Tipos de EDLC

EDLC	Densidade energética	Densidade de potência
Carbono ativo	Razoável	Razoável
Carbono Nanotubos	Boa	Boa
Carbono Aerogel	Razoável	Boa
Composto híbrido	Boa	Razoável
Assimétrico	Boa	Boa
Tipo Bateria	Boa	Boa
Polímeros condutores	Boa	Razoável
Metal óxido	Boa	Boa

Fonte: SILVA, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

SUPERCONDUTORES

Dispositivo de corrente contínua (DC), que armazena energia no campo magnético, utilizando uma bobina supercondutora.

Fonte: MIRANDA, 2011.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Supercondutores

Características Avaliadas	
Aplicação	Armazenamento de curto tempo (Carros elétricos)
Capacidade	0,1 a 1 MW
Energia Disponível	-
Tempo de descarga	Rápida – Segundos a horas
Vida útil	-
Nº Ciclos	100.000
Densidade de energia	~6 Wh/l
Auto Descarga	10 a 15%
Eficiência	80 a 95%
Custo	130 a 515 USD/KW - Elevado, devido ao complexo sistema de refrigeração.

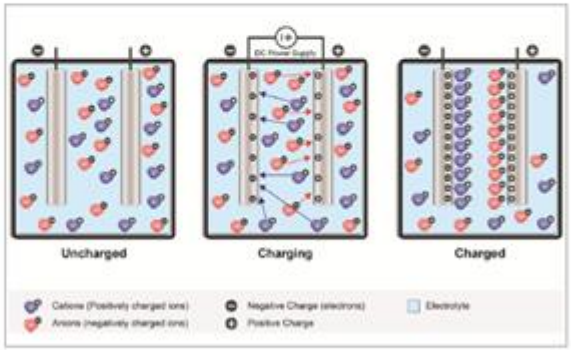
Fonte: MIRANDA, 2011.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

SUPERCAPACITORES

Dois eletrodos de condução à base de carbono, separados por um material isolante dielétrico.



Fonte: MIRANDA, 2011.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Supercapacitores

Características Avaliadas	
Aplicação	-
Capacidade	0,01 a 1 (MW)
Energia Disponível	-
Tempo de descarga	Rápida - Micro Segundos a minutos
Vida útil	4 a 20 anos
Nº Ciclos	10.000 a 100.000
Densidade de energia	10 a 20 Wh/l
Auto Descarga	20 a 40%
Eficiência	80 a 98%
Custo	130 a 515 USD/KW - Elevado, devido ao complexo sistema de refrigeração.

Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

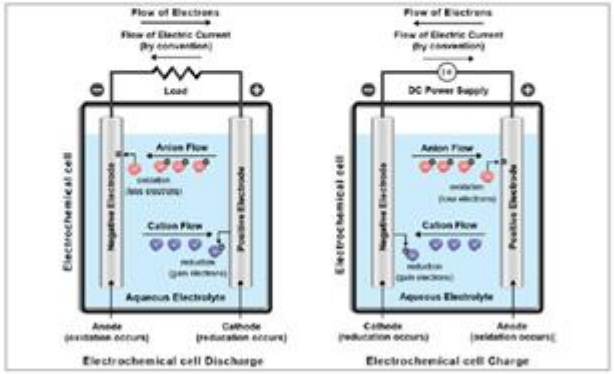
ELETROQUÍMICA

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

BATERIAS CONVENCIONAIS

Utilizam reações químicas, através de eletrodos, para a criação de íons eletricamente carregados, e futura corrente elétrica.



Fonte: PEREIRA, 2013. *SBC Energy Institute*, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

BATERIAS CONVENCIONAIS

Tipos	LA – *Lead Ácid* (Chumbo-Ácido)	NiMH	Li-ion	NaS
Aplicação	Sistemas de alimentação de emergência (FV, EOL, Arranque de veículos)	-	Computadores portáteis, telemóveis, veículos elétricos, sistemas fotovoltáicos, entre outras.	Estabilização de produção de energia renovável. Opera em elevadas temperaturas (300 a 350°C)
Capacidade	-	-	0,1 a 20 MW	10 a 100MW chegando a 270MW
Energia Disponível	-	-		
Tempo de descarga	-	-	1 min a 8 horas	1 min a 8 horas
Vida útil	3 a 20 anos	5 a 20 anos		
Nº Ciclos	100 a 2.000	Mais elevado que a LA	1.000 a 10.000	2.500 a 4.500
Densidade de energia	30 a 80 Wh/l	(60 a 150Wh/l) - Ligeiro aumento em relação à LA	200 a 400 Wh/l. Elevada.	150 a 300 Wh/l
Auto descarga	0,033 a 0,3%	0,067 a 0,6%	0,1 a 0,3%	0,05 a 20%
Eficiência	70 a 90%	60 a 80%	85 a 98%	70 a 90%
Custo	Relativamente Baixo	Elevado.	Relativamente baixo	Alto pela necessidade de fonte de calor

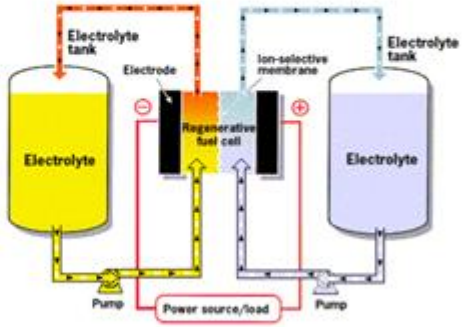
Fonte: PEREIRA, 2013. *SBC Energy Institute*, 2013. *IEC - International Electrotechnical Commission* , 2011.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

BATERIAS DE FLUXO

Convertem energia elétrica em energia potencial química, através do uso de duas soluções de eletrólitos líquidos, separados por uma membrana semipermeável.



Fonte: MIRANDA, 2011. PEREIRA, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Baterias de fluxo

Tipos	Redox de Vanádio	Brometo de polisulfureto	Zinco bromo	Baterias de Fluxo (em geral)
Aplicação	Versáteis para aplicação de pequena escala.	Sistemas que exigem rápida resposta.	-	-
Capacidade	0,1 a 10 MW	-	-	0,1 a 100MW
Energia Disponível	-	-	-	
Tempo de descarga	2 a 8 horas	-	-	1 hora
Vida útil	7 a 15 anos	-	-	-
Nº Ciclos	10.000	2.000	2.000	2.000 a 14.000
Densidade de energia	20 Wh/Kg	-	70 Wh/Kg	20 a 70 Wh/l
Auto descarga	-	-		0,2%
Eficiência	60 a 80%	-	65 a 75%	60 a 85%
Custo	-	-	Alto	-

Fonte: PEREIRA, 2013. *SBC Energy Institute*, 2013. *IEC - International Electrotechnical Commission* , 2011. COUTO, 2014.

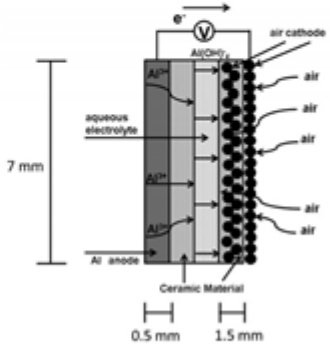
SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

BATERIAS METAL-AR

Consiste em um anodo constituído por metal puro, e um catodo conectado a uma fonte inesgotável de ar.

Exemplo:
Bateria Alumínio-AR



Fonte: IEC, 2011. Imagem: http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Apresentado_vers%C3%A3o_pr%C3%A9-comercial_de_bateria_de_alum%C3%ADnio-ar

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

Baterias Metal-ar

Características Avaliadas	
Aplicação	-
Capacidade	-
Energia Disponível	-
Tempo de descarga	-
Vida útil	-
Nº Ciclos	500
Densidade de energia	8.100 Wh/kg
Eficiência	60%
Custo	Baixo custo, dependendo do metal utilizado.

Fonte: http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Apresentada_vers%C3%A3o_pr%C3%A9-comercial_de_baterias_de_alum%C3%ADnio-ar e http://forschung-energiespeicher.info/en/projektschau/gesamtliste/projekt-einzelansicht/93/Zink_Luft_Akkus_fuers_Netz/

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

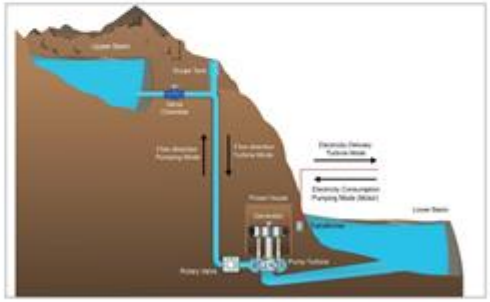
CINÉTICO E POTENCIAL

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

BOMBEAMENTO DE ÁGUA

Consiste na utilização da energia potencial gravitacional da água, utilizando dois reservatórios com diferenças de altitude, e uma bomba que eleva a água de um para o outro.



Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Bombeamento de Água

Características Avaliadas	
Aplicação	Alta Potência. Em plantas de energias renováveis, e em Usinas Hidrelétricas já instaladas (reversíveis).
Capacidade	100 a 1.000 (MW)
Energia Disponível	-
Tempo de descarga	4 a 12 horas
Vida útil	> 30 anos
Nº Ciclos	-
Densidade de energia	0,2 a 2 Wh/l
Auto Descarga	~0
Eficiência	70 a 85%
Custo	Variável de acordo com o projeto

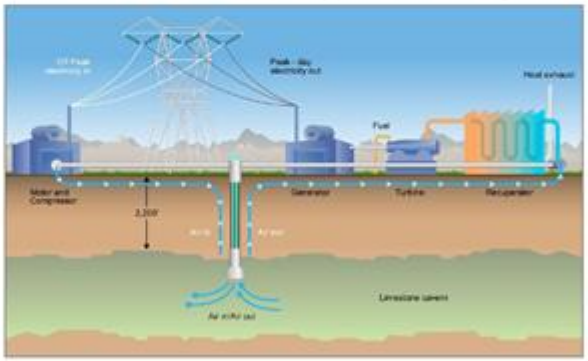
Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

AR COMPRIMIDO

Consiste na utilização de uma turbina a gás, e os processos de compressão e combustão. O armazenamento pode ser feito em cavernas subterrâneas ou em tubagem de alta pressão.



Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013. PEREIRA, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Ar Comprimido

Características Avaliadas	
Aplicação	-
Capacidade	10 a 1.000 MW
Energia Disponível	-
Tempo de descarga	2 a 30 horas
Vida útil	20 a 40 anos
Nº Ciclos	-
Densidade de energia	12 kWh/m³ (2 a 6 Wh/l)
Auto Descarga	~0
Eficiência	40 a 75%
Custo	-

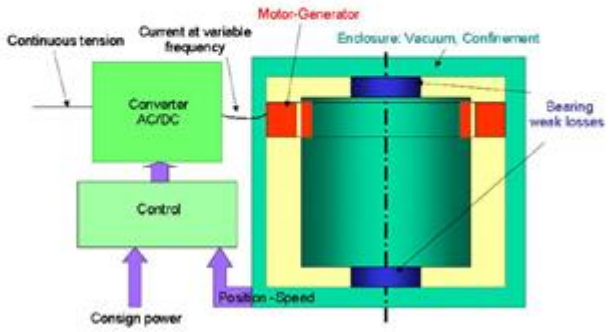
Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

FLYWHEEL – VOLANTE DE INÉRCIA

Consiste em armazenar energia elétrica sob a forma de energia cinética. Utiliza-se de um volante maciço acoplado a um motor/gerador e suportes magnéticos especiais.



Fonte: MIRANDA, 2011. PEREIRA, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Flywheels – Volante de Inércia

Características Avaliadas	
Aplicação	Armazenamento de curto prazo
Capacidade	0,001 a 1 MW
Energia Disponível	-
Tempo de descarga	10 a 20 ms
Vida útil	15 a 20 anos
Nº Ciclos	20.000 a 100.000
Densidade de energia	20 a 80 Wh/l
Auto Descarga	1,3 a 100%
Eficiência	70 a 95%
Custo	130 a 500 USD/kW

Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013. *IEA*, 2014.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

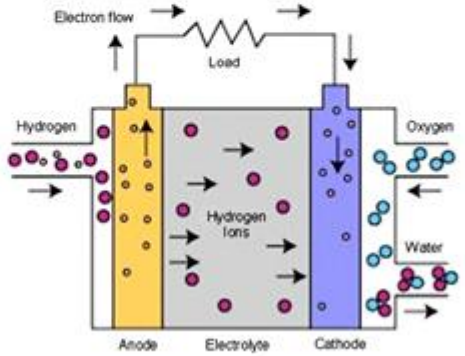
QUÍMICA

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

CÉLULA A COMBUSTÍVEL - HIDROGÊNIO

Consiste em utilizar da eletrólise da água para a produção de hidrogênio. Posteriormente, utilizá-lo em células a combustível para a produção de energia elétrica.



Fonte: MIRANDA, 2011. PEREIRA, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

Célula a Combustível - Hidrogênio

Características Avaliadas	
Aplicação	Armazenamento de longo prazo
Capacidade	0,01 a 1000 MW
Energia Disponível	-
Tempo de descarga	Min. a Semanas
Vida útil	5 a 30 anos
Nº Ciclos	-
Densidade de energia	600 Wh/l (200bar)
Auto Descarga	0 a 4%
Eficiência	25 a 45%
Custo	500 a 750 USD/kW

Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013. *IEA*, 2014.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

DISSOCIAÇÃO DE AMÔNIA

Consiste em utilizar a amônia como fonte de fornecimento de hidrogênio, através de eletrólise ou decomposição, para geração de energia através de uma célula a combustível.

$$2\,NH_3 + 92.4\text{kJ} \rightarrow N_2 + 3\,H_2$$

Os parâmetros serão considerados os mesmos da Célula a combustível (Hidrogênio).

A única variável será a redução de gastos com transporte, já que a amônia é mais segura para transportar.

Fonte: CHEDDIE, 2012.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

GÁS NATURAL SINTÉTICO

Conversão química de compostos de carbono a combustíveis líquidos claros.

Utilizado em plantas piloto e de pequena escala.

Composto de carbono $+ O_2, H_2O$ e $CO_2 \longrightarrow$ Gás de Síntese $+ (CO + H_2)$

Gás de Síntese $+ H_2 \longrightarrow$ álcoois, olefinas e hidrocarbonetos

Fonte: PINHEIRO, 2002.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Gás Natural Sintético

Características Avaliadas	
Aplicação	-
Capacidade	50 a 1.000 MW
Energia Disponível	
Tempo de descarga	Horas a Semanas
Vida útil	30 anos
Nº Ciclos	-
Densidade de energia	1.800 Wh/l (200 bar)
Auto Descarga	0,2 a 2%
Eficiência	25 a 50%
Custo	-

Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013. *IEA*, 2014.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

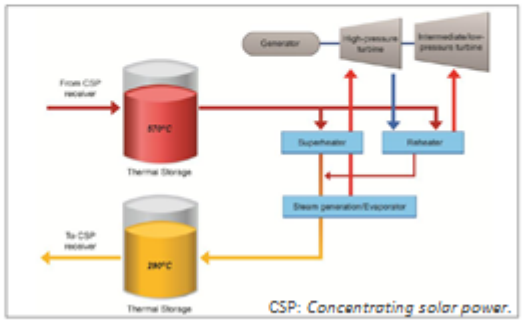
TÉRMICO

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

SAL FUNDIDO

Consiste em armazenar energia elétrica em forma de energia térmica, pelo aquecimento do sal. O calor é recuperado, produzindo de vapor de água, que gera eletricidade a partir de um sistema de turbina-gerador.



CSP: *Concentrating solar power.*

Fonte: PEREIRA, 2013. *SBC Energy Institute*, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Sal Fundido

Características Avaliadas	
Aplicação	Altas temperaturas.
Capacidade	1 a 150 MW
Energia Disponível	-
Tempo de descarga	Horas
Vida útil	30 anos
Nº Ciclos	-
Densidade de energia	70 a 210 Wh/l
Auto Descarga	-
Eficiência	80 a 90%
Custo	400 a 700 USD/kW

Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013. *IEA*, 2014.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

INOVAÇÕES

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

RECARREGAMENTO À DISTÂNCIA

Consiste em recarregar um veículo elétrico sem a utilização de fios. O sistema inclui inversor, transformador de isolamento, eletrônica (no automóvel e tecnologias), bobinas encarregadas da transmissão da eletricidade.

http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=recarregamento-distancia-veiculos-eletricos&id=010170160420

Fonte: Site Inovação Tecnológica , 2016.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

RECARREGAMENTO À DISTÂNCIA

Características Avaliadas	
Aplicação	Re-carregamento de baterias à distância.
Capacidade	20 KW
Tempo de recarga	Rápido
Eficiência	90%

Parceiros envolvidos: Laboratório Nacional Oak Ridge (EUA), Universidade Clemson, além de engenheiros das empresas Toyota, Cisco e Evatran.

CEMIG

Fonte: Site Inovação Tecnológica , 2016.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

BATERIA DE CELULAR PARA ILUMINAÇÃO

Consiste em transformar as baterias de íons de lítio de celulares, em sistemas geradores de energia solar. Conectar tais baterias a um painel solar portátil e a lâmpadas de LED.

Desenvolvedor: Boucar Diouf, da Universidade Kyung Hee.

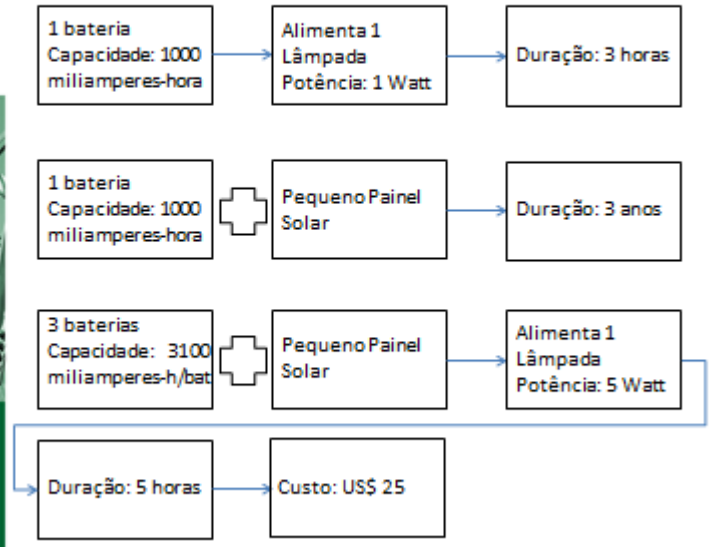
https://www.aip.org/publishing/journal-highlights/lighting-screens-lighting-homes

Fonte: Site Inovação Tecnológica , 2016.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

RECARREGAMENTO À DISTÂNCIA



Fonte: Site Inovação Tecnológica , 2016.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Bateria CH75-6

Consiste em uma bateria baseada na tecnologia do tipo Lítio-íon. Muito resistente à vibrações e choques, por apresentar uma caixa cilíndrica e sistema de vento envolta do eletrólito.

Fonte: Shin-Kobe Electric Machinery Co.,Ltd.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

CH75-6

Características Avaliadas	
Aplicação	Sistemas eólicos ou Fotovoltáicos; Smart Grid;
Capacidade	22,2 V
Energia Disponível	-
Tempo de descarga	-
Vida útil	-
Nº Ciclos	4000
Densidade de energia	72,4 Wh/kg
Auto Descarga	-
Eficiência	-
Custo	-

Fonte: Shin-Kobe Electric Machinery Co.,Ltd.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

IoT

O conceito de “Internet das coisas” trata-se de conectar objetos comuns do dia a dia, à rede mundial de computadores. Para tal, as baterias convencionais precisam sofrer alterações.

Fonte: http://electroiq.com/blog/2016/04/iot-powering-small-devices/.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

IoT – Baterias flexíveis

- Baterias flexíveis, ultra-finas e resistente a altas temperaturas.
- Adaptável, de acordo com a necessidade apresentada.
- Não tóxicas e não corrosivas -> ambientalmente sustentável.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

IoT – Baterias flexíveis

Características Avaliadas	
Aplicação	Objetos do dia a dia, "Internet das coisas".
Capacidade	-
Energia Disponível	10, 14, 20, 25mAh
Tempo de descarga	-
Vida útil	3-5 anos
Nº Ciclos	-
Densidade de energia	
Auto Descarga	-
Eficiência	-
Custo	-

Fonte: Shin-Kobe Electric Machinery Co.,Ltd.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

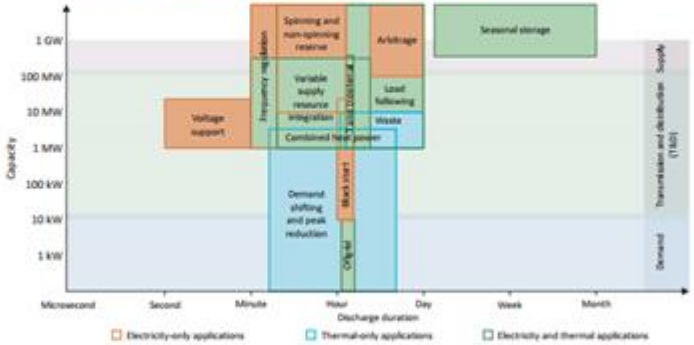
RESULTADOS E COMPARAÇÕES

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Capacidade X Descarga

Figure 1: Power requirement versus discharge duration for some applications in today's energy system



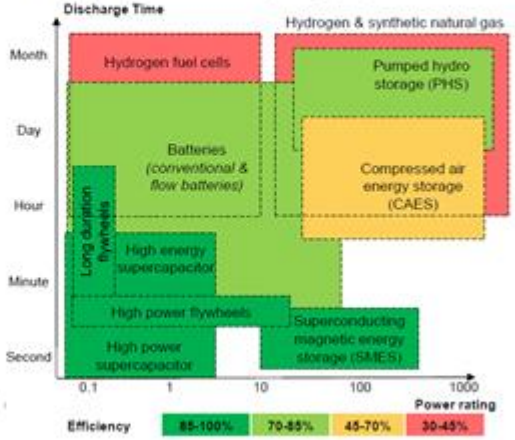
Fonte: *IEA*, 2014.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Capacidade X Descarga

ELECTRICITY STORAGE TECHNOLOGIES
Discharge Time *vs.* Power capacity (MW)

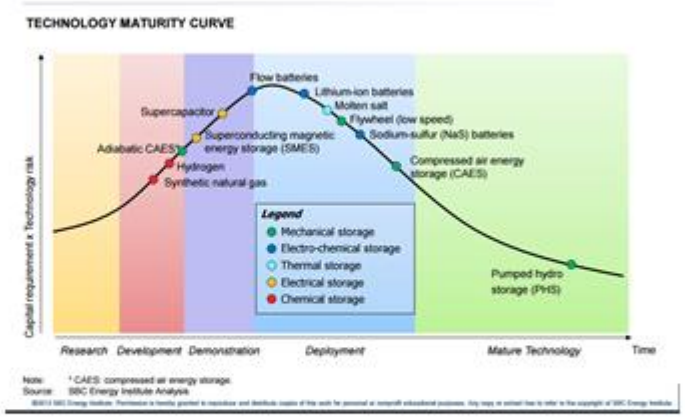


Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Resultados e Comparações



Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Comparações - Características

MAIN TECHNICAL FEATURES OF STORAGE TECHNOLOGIES

	Power rating (MW)	Storage duration (h)	Cycling or lifetime	Self discharge [1]	Energy density (Wh/l)	Power density (W/l)	Efficiency	Response time
PHS[2]	100 - 1,000	4 - 12h	30 - 60 years	~0	0.2 - 2	0.1 - 0.2	70-85%	Sec - Min
CAES[3]	10 - 1,000	2 - 30h	20 - 40 years	~0	2 - 6	0.2 - 0.6	40-75%	Sec - Min
Flywheels	0.001 - 1	Sec - hours	20,000 - 100,000	1.3 -100 %	20 - 80	5,000	70-95%	< sec
NaS battery[4]	10 - 100	1 min - 8h	2,500 - 4,500	0.05 - 20%	150 - 300	120 - 160	70-90%	< sec
Li-ion battery[5]	0.1 - 20	1 min - 8h	1,000 - 10,000	0.1 - 0.3%	200 - 400	1,300 - 10,000	85-98%	< sec
Flow battery[6]	0.1 - 100	1 - 0h	12,000 - 14,000	0.2%	20 - 70	0.5 - 2	60-85%	< sec
Supercapacitor	0.01 - 1	Ms - min	10,000- 100,000	20 - 40%	10 - 20	40,000 - 120,000	80-98%	< sec
SMES[7]	0.1 - 1	Ms - sec	100,000	10 - 15%	~6	~2,600	80-95%	< sec
Molten salt	1 - 150	Hours	30 years	n/a	70 - 210	n/a	80-90%	Min
Hydrogen	0.01 - 1,000	Min - weeks	5 - 30 years	0 - 4%	600 (200 bar)	0.2 - 20	25-45%	Sec - Min
SNG[8]	50 - 1,000	hours-weeks	30 years	negligible	1,800 (200 bar)	0.2 - 2	25-50%	Sec - Min

Note: [1] PHS: pumped hydro storage; [2] CAES: compressed air energy storage; [3] NaS: sodium-sulfur; [4] Li-ion: lithium-ion; [5] Data for vanadium redox flow battery; [6] SMES: superconducting magnetic energy storage; [7] SNG: synthetic natural gas at ambient temperature; [8] Percentage of energy lost per day.

Source: Bradbury (2010), "Energy Storage Technology Review"; IEC (2011), "Electrical Energy Storage – White paper"

©2013 SBC Energy Institute. Permission is hereby granted to reproduce and distribute copies of this work for personal or nonprofit educational purposes. Any copy or extract has to refer to the copyright of SBC Energy Institute.

23

Fonte: *SBC Energy Institute*, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Comparações - Características

	Power rating (MW)	Storage Duretion (h)	Cycling or lifetime	Self discharge	Energy density	Power density	Efficiency	Response time
Bateria Metal-AR	-	-	500	-	8.100 Wh/kg	-	60%	-
Dissociação Amônia	0.01 – 1.000	Min - weeks	5 – 30 years	0 – 4%	600 (200 bar)	0.2 - 20	25-45%	Sec - Min
Supercon-densadores	-	-	1.000.000 8 a 10 anos	-	4000 Wh/kg	-	95%	segundos

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Classificação

Classificação quando à Capacidade		Tecnologias de armazenamento de energia
Grande Escala (GW)		Térmico; por bombeamento de água; ar comprimido, químico (ex.: hidrogênio em larga escala).
Média Escala (MW)	**Potência**	Supercondensadores, supercondutores magnéticos, *flywheels*.
	Energia	Baterias (chumbo ácido, íons de lítio, baterias de fluxo e enxofre de sódio).
	Potência e energia	Baterias de LA e lítio-ion.
		Energia de hidrogênio, ar comprimido e bombeamento de água (pequena escala).
Micro Escala (KW)	**Potência**	Supercondensadores, *flywheels*.
	Energia	Baterias (chumbo ácido e Lítio – ion).
	Potência e energia	Baterias de Lítio-ion.

Fonte: PEREIRA, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

Resultados e Comparações

Tecnologia	Onde estão implantadas
PSH (*Pumped storage hydropower*)	Bath County in Virginia, (USA); Guandong in China.[3] Muddy Run, Seneca Yards Creek, Bath County, Smith Mountain (USA)
CAES (*Compressed air energy storage*)	Sistema de 290 MW (Huntorf – Alemanha) e Sistema de 110 MW (McIntosh - Alabama – EUA)[1]
Sal Fundido	Aplicado em cerca de 2,4% dos projetos de armazenamento dos EUA[1]; Aldiere, Grenada (Spain), Tonopah Nevada (US)[3]
Baterias	Hidrelétrica de Bariri - AES Tieté (0,5 MW baterias de íons de lítio)[2]; Rokkasho-Futamata Wind farm (Japan), St André La Réunion (France) (NaS)[3]; Laurel Mountain West Virginia (US), La Aldea de San Nicolas in Canaria Island (Spain) (Li-ion)[3]; Tomamae, Hokkaido (Japan), Kitangi (Kenya) (Bateria de Fluxo) [3]
Hidrogênio	*Utsira project*, Norway[3]
Flywheels	Stephentown, New York US; Okinawa (Japan)[3]
Supercapacitores	Palmdale California (US), La Palma in the Canary Islands (Spain)[3]
Supercondutores magnéticos	Anchorage Alaska (US)[3]

CEMIG

Fonte: 1 - http://blogs.pini.com.br/posts/tecnologia-sustentabilidade/sistemas-de-armazenamento-de-energia-tendencias-para-o-setor-eletrico-366246-1.aspx; 2 - http://www.gsnoticias.com.br/sistema-armazenamento-energia-chega-ao-pais-neste.aspx; 3 - *SBC Energy Institute_Electricity_Storage*, 2013.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.
CEMIG
Fabricantes
3M
TOSHIBA
Leading Innovation
Kokam
S&C ELECTRIC COMPANY
Fuji Pigment Co.Ltd
A Company Based on Chemical Technology
SAMSUNG
SAMSUNG SDI
FLUIDICENERGY
Younicos
Let the fossils rest in peace.
BYD
SAMSUNG
NEC
Leclanché
LG Chem
TESLA
Kokam
Lithium
FIAMM
High-T
McPhy
H2
cellstrom
Flow

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Pesquisadores e parceiros - NACIONAIS

AES Brasil

ABAQUE
Associação Brasileira de Armazenamento e Qualidade de Energia

CPFL ENERGIA

Eletrobras

BR PETROBRAS

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.
Pesquisadores e parceiros - INTERNACIONAIS
Swanbarton
ENERGY STORAGE CONSULTANTS
institutos lactec
Enel
Green Power
ofgem
KiWiPOWER
demand management
PÖYRY
UK
Power
Networks
Delivering your electricity
AMTSybex
nationalgrid
STANHOPE
BRASIL ENERGIA
Parker
smartestenergy
CEMIG

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

UNIVERSIDADES ENVOLVIDAS

FPTI
Fundação Parque
Tecnológico Itaipu

UNICAMP

Newcastle University

UNIVERSITY OF BIRMINGHAM

Imperial College
London

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

CONSIDERAÇÕES FINAIS

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

ANÁLISE SWOT

		BRASIL
INTERNAS	FORÇAS	• Recursos naturais; • Território disponível para locais de demonstração; • Crescimento do mercado; • Conhecimento avançado no sistema hidroelétrico.
	FRAQUEZAS	• Limitada capacidade de pesquisa; • Crise política (prejudica recursos para pesquisa);
EXTERNAS	OPORTUNIDADES	• Envolvimento de empresas e universidades internacionais; • Aumento de demanda por energia elétrica; • Mudanças climáticas – necessidade do desenvolvimento de Energias de fontes Renováveis.
	AMEAÇAS	• Fortes competidores; • Desvalorização financeira de bioenergias.

Fonte: Adaptado de Energy storage in the UK: innovation overview. Aneel, 2016. Brasília-DF.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

SUGESTÃO DE ESTRATÉGIA

Ação	Motivo
• Rever políticas e planos	• Aumentar a disponibilidade de recursos para pesquisa, e incentivar a utilização de sistemas de armazenamento por pequenos e grandes geradores de energia
• Desenvolver roteiro sobre Sistema de Armazenamento de Energia	• Tornar visível os estudos já realizados na área, e proporcionar conhecimento que auxilie no desenvolvimento de novas tecnologias
• Buscar colaboradores	• Aumentar a capacidade de pesquisa, e desenvolver a valorização do sistema de armazenamento de energia no Brasil
• Aproveitar os potenciais do país	• Investir nas fontes renováveis de energia, aplicando a tecnologia pesquisada sobre o sistema de armazenamento de ernergia

Fonte: Adaptado de Energy storage in the UK: innovation overview. Aneel, 2016. Brasília-DF.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

REFERÊNCIAS

CHEDDIE, Denver. ***Ammonia as a Hydrogen Source for Fuel Cells: A Review***. Outubro, 2012. Disponível em: < http://www.intechopen.com/books/hydrogen-energy-challenges-and-perspectives/ammonia-as-a-hydrogen-source-for-fuel-cells-a-review>. Acesso em: 15 Abr. 2016.

COUTO, Ana. **Integração de um Sistema de Armazenamento de Energia em Consumidores de Baixa Tensão.** Dezembro, 2014. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electroténica e Computadores) – Instituto Politécnico de Setúbal - IPS. Disponível em: < http://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/8165/1/Dissertação%20Ana%20Couto_100281003_Versão%20Final.pdf>. Acesso em: 12 Abr. 2016.

Energy storage in the UK: innovation overview. Aneel, 2016. Brasília-DF.

ESPINOZA, Venetia. ***IoT: Powering small devices*. 2016.** Disponível em: <http://electroiq.com/blog/2016/04/iot-powering-small-devices/>. Acesso em: 25 mai. 2016.

IEA – International Energy Agency. ***Technology Roadmap. Energy storage.*** Paris, 2014. Disponível em:<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergystorage.pdf>. Acesso em: 12 Abr. 2016.

IEC - International Electrotechnical Commission . ***Electrical Energy Storage***. Suíça, 2011. Disponível em: <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-energystorage-LR-en.pdf>. Acesso em: 11 Abr. 2016.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Eletricidade à distância para carros elétricos atinge 20 Kw.** Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=recarregamento-distancia-veiculos-eletricos&id=01017016042O>. Acesso em 17 mai. 2016.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

REFERÊNCIAS

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Baterias de celulares velhos iluminam residências carentes.** Disponível em: < http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=gerador-solar-criado-baterias-celulares-velhos#.V0WID_krLGg >. Acesso em: 25 mai. 2016.

MAZAROBA, Marcello. **Sistemas de Armazenamento de Energia (*Storage Systems*).** Novembro, 2012. Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/mezaroba/materiais/CEN___Aula_12___Armazenadores_de_Energia.pdf >. Acesso em: 11 Abr. 2016.

MIRANDA, Antônio Manuel Vasconcelos. **Tecnologias de armazenamento de energia – Identificação do potencial e aplicações.** Junho, 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em: < http://paginas.fe.up.pt/~ee04013/wp-content/uploads/2011/03/Tecnologias-de-armazenamento-de-energia-Identifica%C3%A7%C3%A3o-do-potencial-e-aplica%C3%A7%C3%B5es-_-versao_provisoria.pdf>. Acesso em: 06 Abr. 2016.

PINHEIRO, Bernardo Barbará. **"PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS SINTÉTICOS A PARTIR DO GÁS NATURAL: evolução e perspectivas."** Julho, 2002. Monografia de Bacharelado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Economia. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/CapitalHumano/Arquivos/PRH21/Bernardo-Barbara-Pinheiro_PRH21_UFRJ_G.pdf>. Acesso em: 14 Abr. 2016.

PINTO, Ricardo. **Apresentada versão pré-comercial de bateria de alumínio-ar. Armazenamento de energia.** Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Apresentada_vers%C3%A3o_pr%C3%A9-comercial_de_bateria_de_alum%C3%ADnio-ar>. Acesso em: 14 Abr. 2016.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

REFERÊNCIAS

PEREIRA, Fábio. "***Energy Storage Systems* – (Sistemas de Armazenamento de Energia)**" - Instituto Superior de Engenharia do Porto. Disponível em: <http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/3568/1/ART_FabioPereira_2013_NAT.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2016.

ROSOLEM, Maria de Fátima. **Baterias metal-ar: inovação disruptiva**. Novembro, 2015. Disponível em: <http://www.cpqd.com.br/artigos/armazenamento-de-energia/baterias-metal-ar-inovacao-disruptiva/>. Acesso em 11 Abr. 2016.

SBC Energy Institute. ***Leading the energy transition – FactBook – Eletricity***. September 2013. Disponível em: <https://www.sbc.slb.com/~/media/Files/SBC%20Energy%20Institute/SBC%20Energy%20Institute_Electricity_Storage%20Factbook_vf1.pdf>. Acesso em 06 abr. 2016.

Shin-Kobe Electric Machinery Co.,Ltd. Material disponibilizado pela empresa à CEMIG.

Sistema de armazenamento de energia chega ao País neste ano. Disponível em: <http://www.dci.com.br/em-destaque/sistema-de-armazenamento-de-energia-chega-ao-pais-neste-ano-id522983.html>.

SILVA, Pedro. **Supercondensadores.** Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.22/6271>. Acesso em: 11 Abr. 2016.

SOMOS A CEMIG, A SUA,
A NOSSA ENERGIA.

ATUAMOS NAS ÁREAS DE GERAÇÃO, TRANSMISSÃO,
DISTRIBUIÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA,
GÁS E TELECOMUNICAÇÕES.

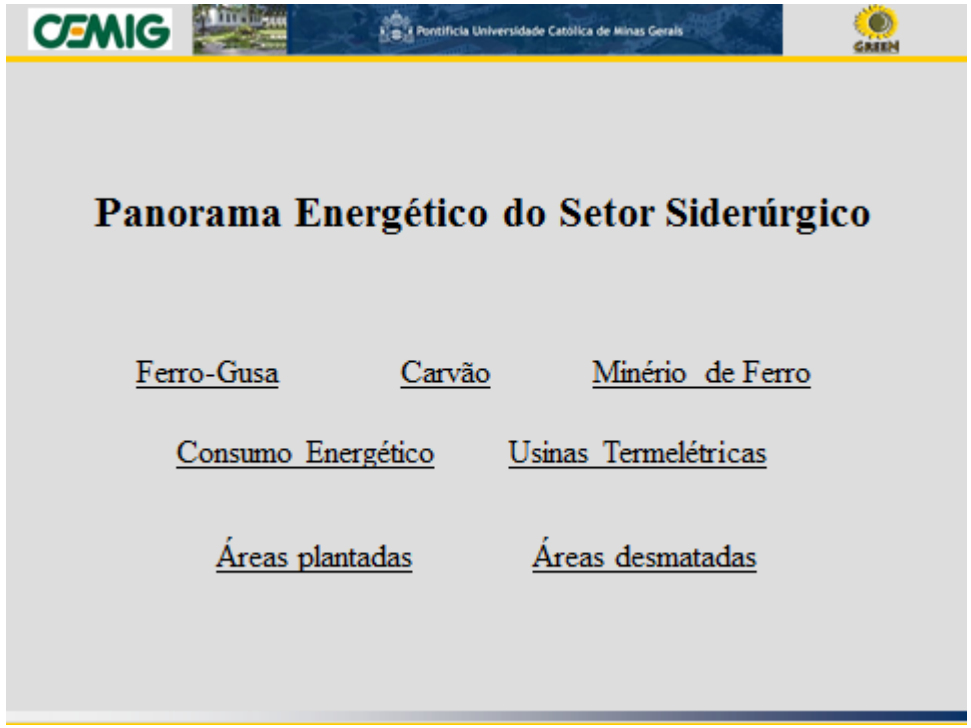
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

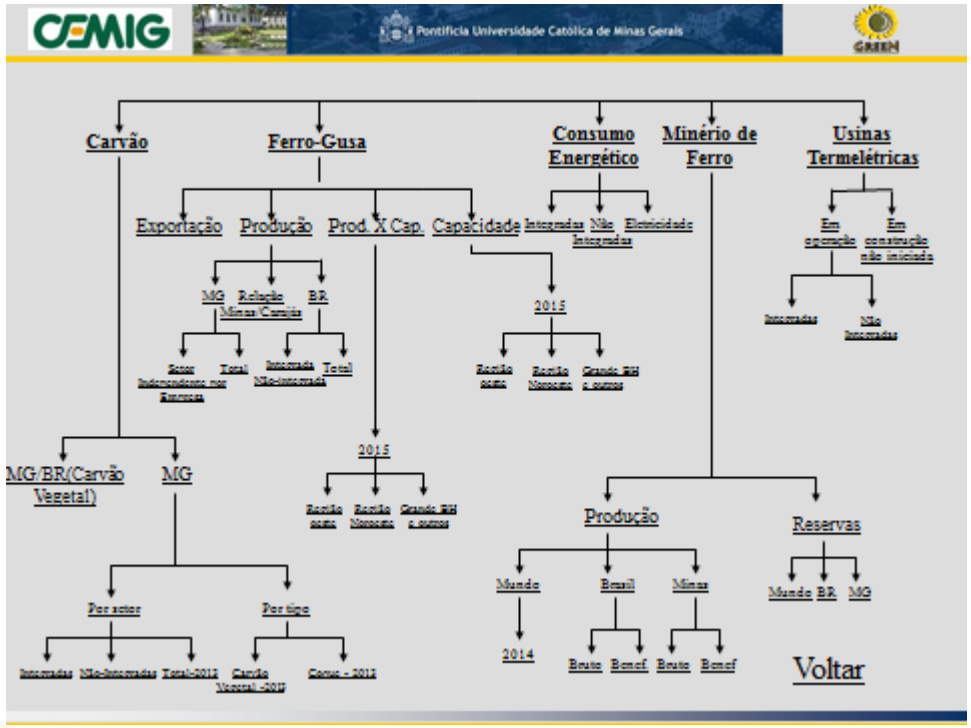
SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

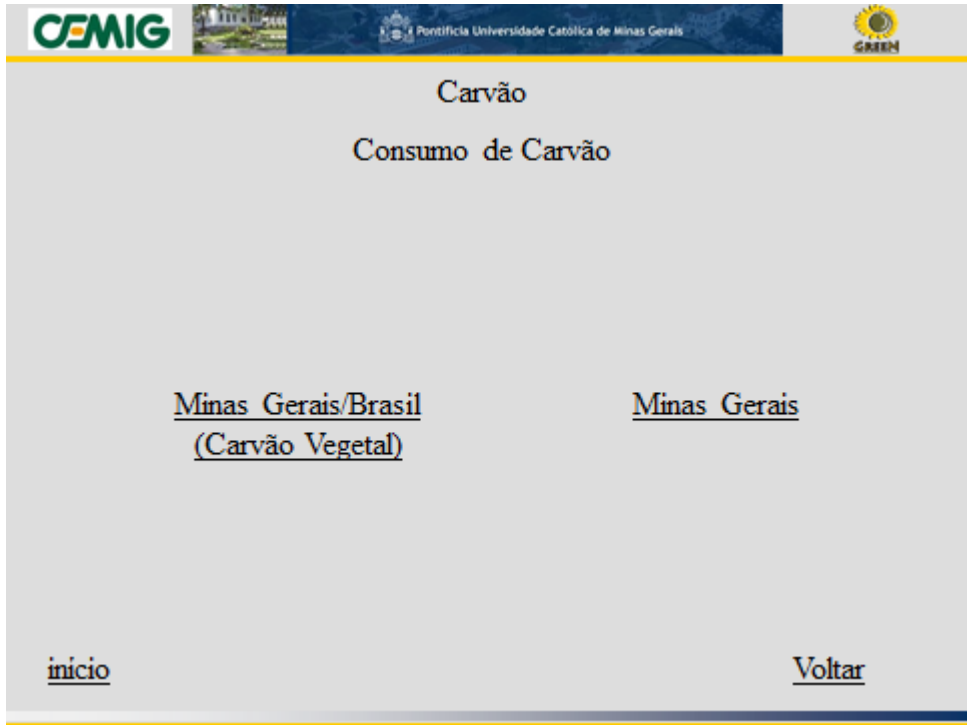
CEMIG

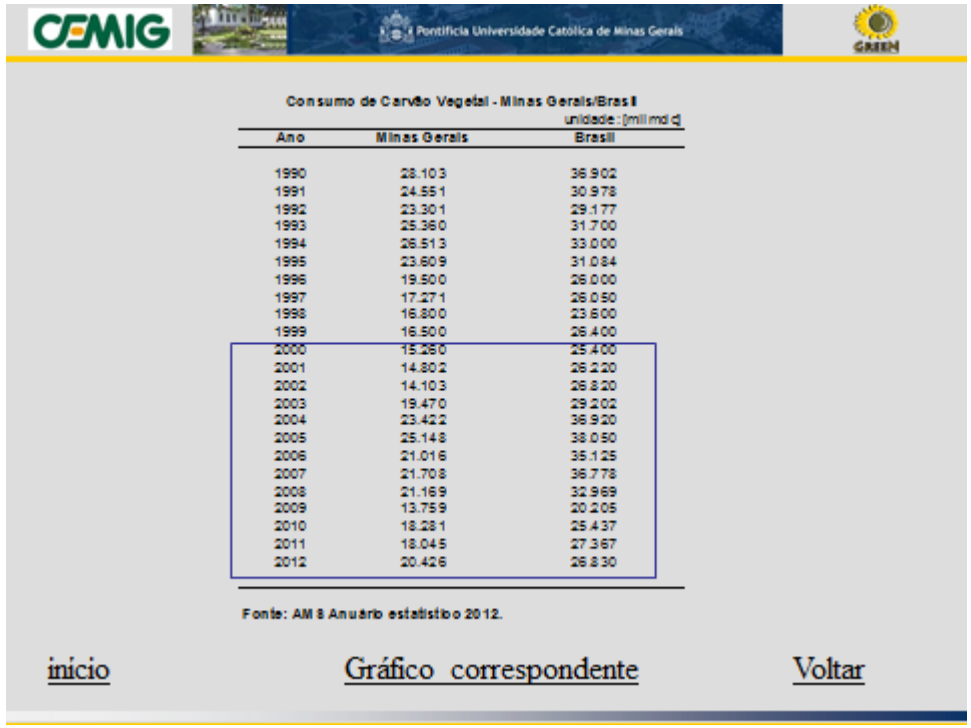
OBRIGADA

Nome: Luana Teixeira C. Lana
E-mail: luana.teixeira@cemig.com.br
luanalana3.14@gmail.com


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Panorama Energético do Setor Siderúrgico
Ferro-Gusa
Carvão
Minério de Ferro
Consumo Energético
Usinas Termelétricas
Áreas plantadas
Áreas desmatadas


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Carvão
Ferro-Gusa
Consumo Energético
Minério de Ferro
Usinas Termelétricas
Exportação
Produção
Prod. X Cap.
Capacidade
Integradas
Não Integradas
Eletricidade
Em operação
Em construção não iniciada
MG
Relação Minas/Carajás
BR
2015
Integradas
Não Integradas
Total
Não-Integrada
Região atual
Região Nascente
Grande BH e outros
MG/BR(Carvão Vegetal)
MG
Produção
Reservas
Mundo
Brasil
Minas
BR
Por setor
Por tipo
Integradas
Não-Integradas
Total-2012
Carvão Vegetal -2012
Coque - 2012
2014
Bruto
Benef
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Carvão
Consumo de Carvão
Minas Gerais/Brasil
(Carvão Vegetal)
Minas Gerais
início
Voltar



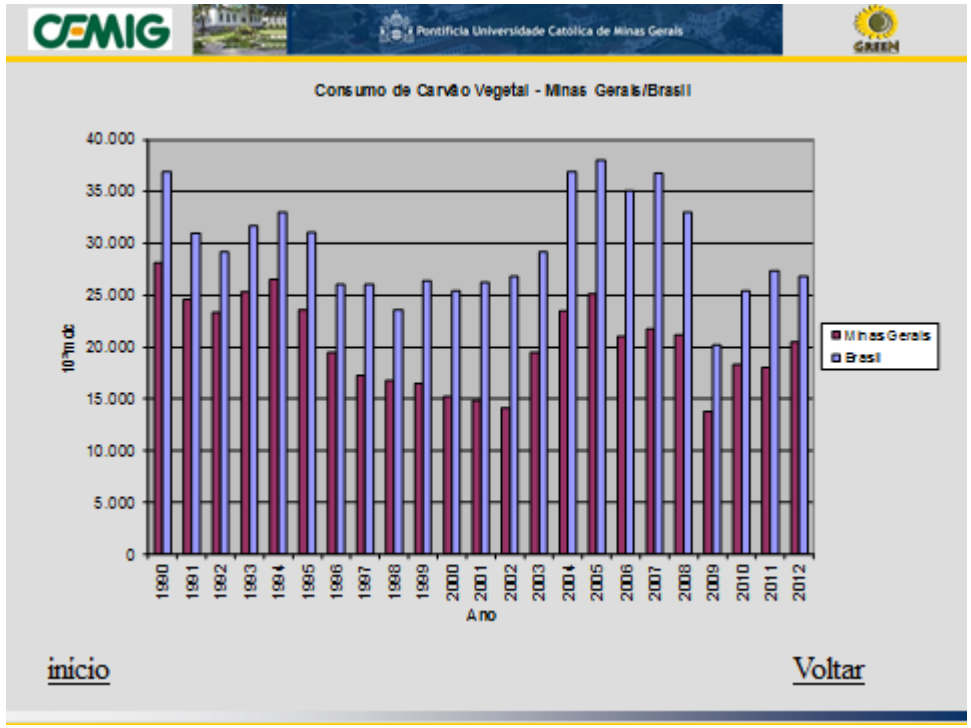
Consumo de Carvão Vegetal - Minas Gerais/Brasil

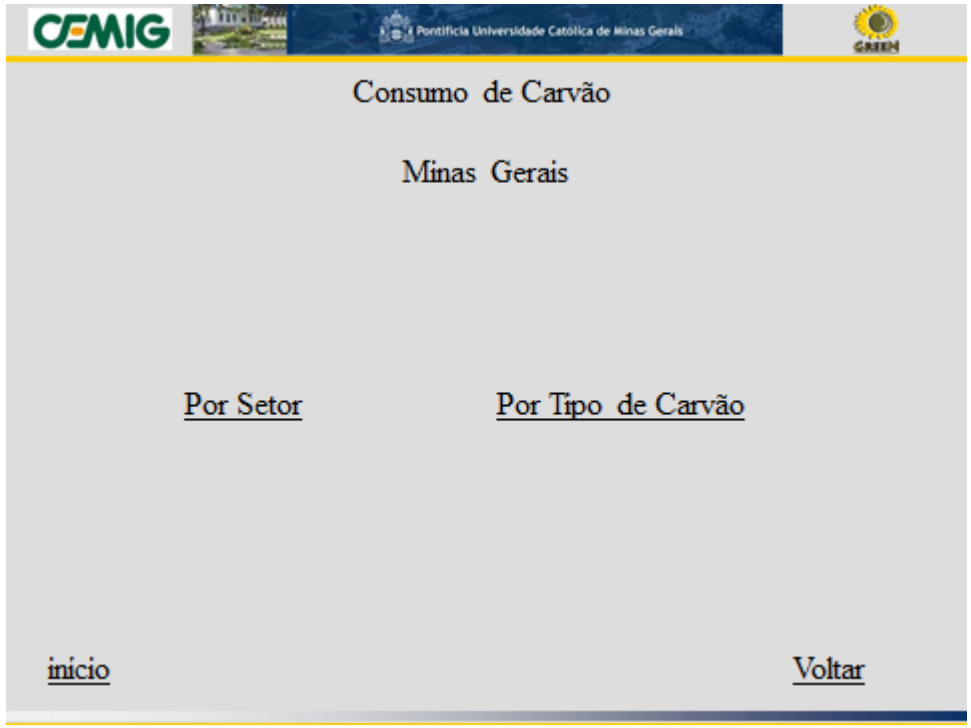
unidade: [mil mdc]

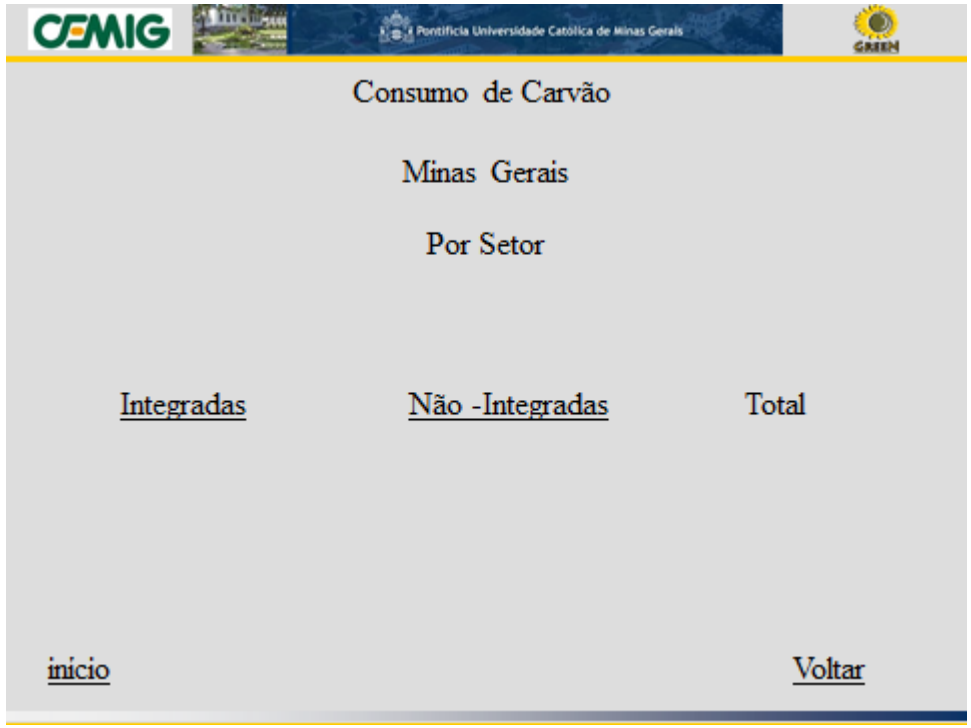
Ano	Minas Gerais	Brasil
1990	28.103	36.902
1991	24.551	30.978
1992	23.301	29.177
1993	25.360	31.700
1994	26.513	33.000
1995	23.609	31.084
1996	19.500	26.000
1997	17.271	26.050
1998	16.800	23.600
1999	16.500	26.400
2000	15.260	25.400
2001	14.802	26.220
2002	14.103	26.820
2003	19.470	29.202
2004	23.422	36.920
2005	25.148	38.050
2006	21.016	35.125
2007	21.708	36.778
2008	21.169	32.969
2009	13.759	20.205
2010	18.281	25.437
2011	18.045	27.367
2012	20.426	26.830

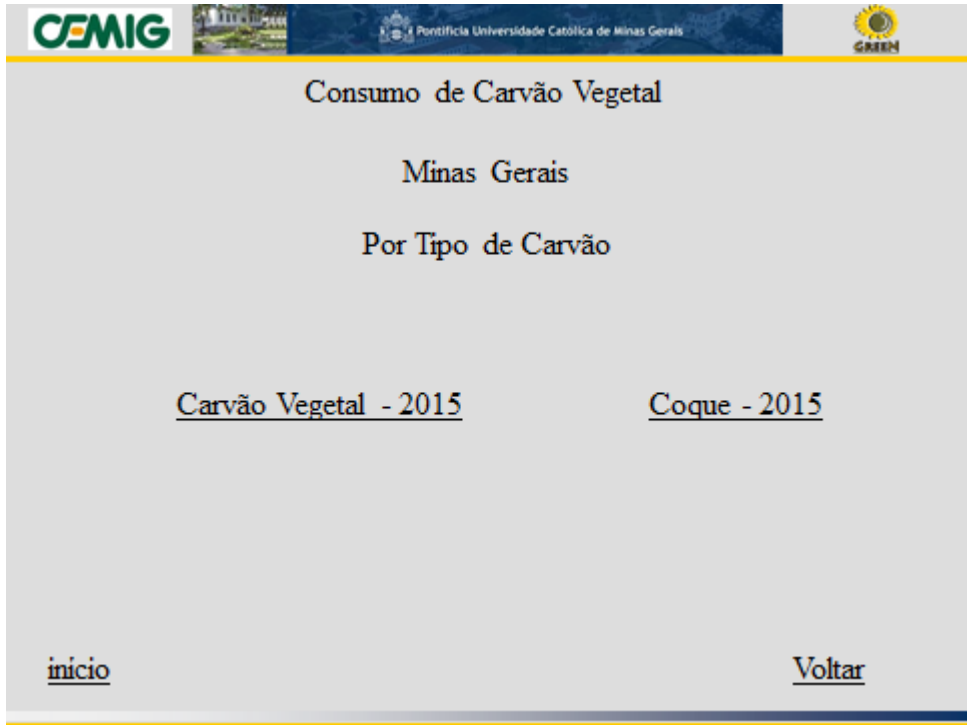
Fonte: AMS Anuário estatístico 2012.

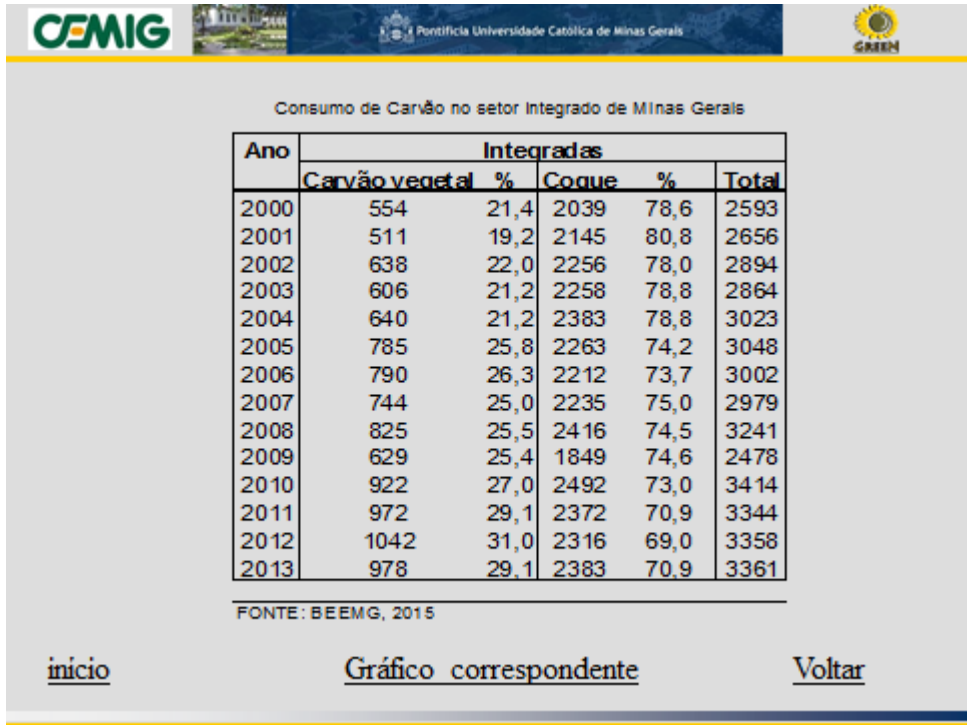
início Gráfico correspondente Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Consumo de Carvão Vegetal - Minas Gerais/Brasil
40.000
35.000
30.000
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0
10^3m de
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
Ano
Minas Gerais
Brasil
início
Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Consumo de Carvão
Minas Gerais
Por Setor
Por Tipo de Carvão
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Consumo de Carvão
Minas Gerais
Por Setor
Integradas
Não -Integradas
Total
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Consumo de Carvão Vegetal
Minas Gerais
Por Tipo de Carvão
Carvão Vegetal - 2015
Coque - 2015
início
Voltar

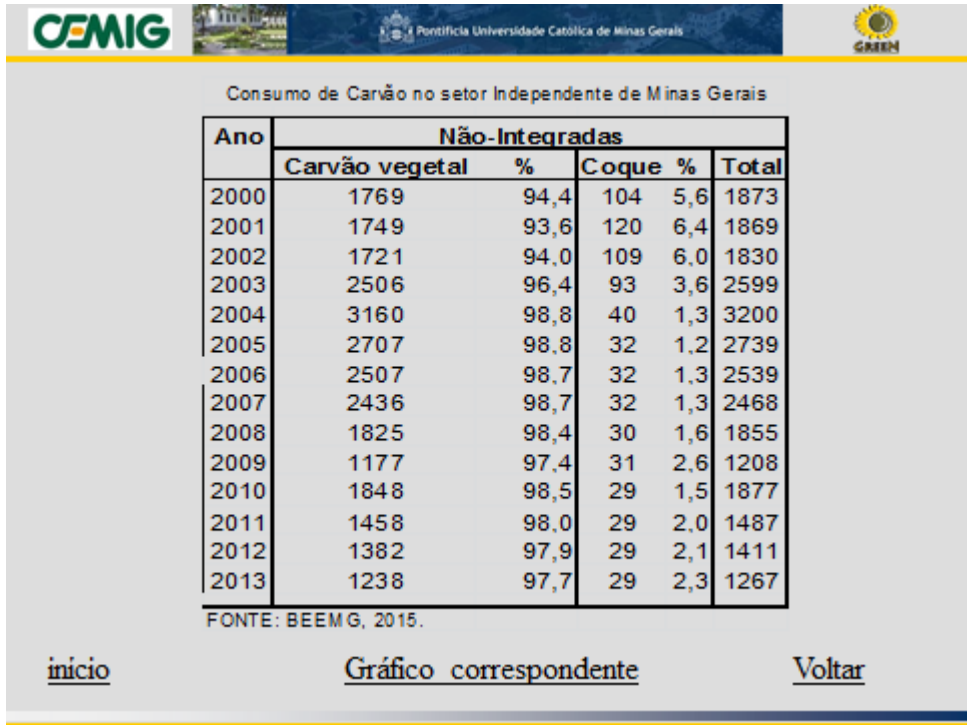


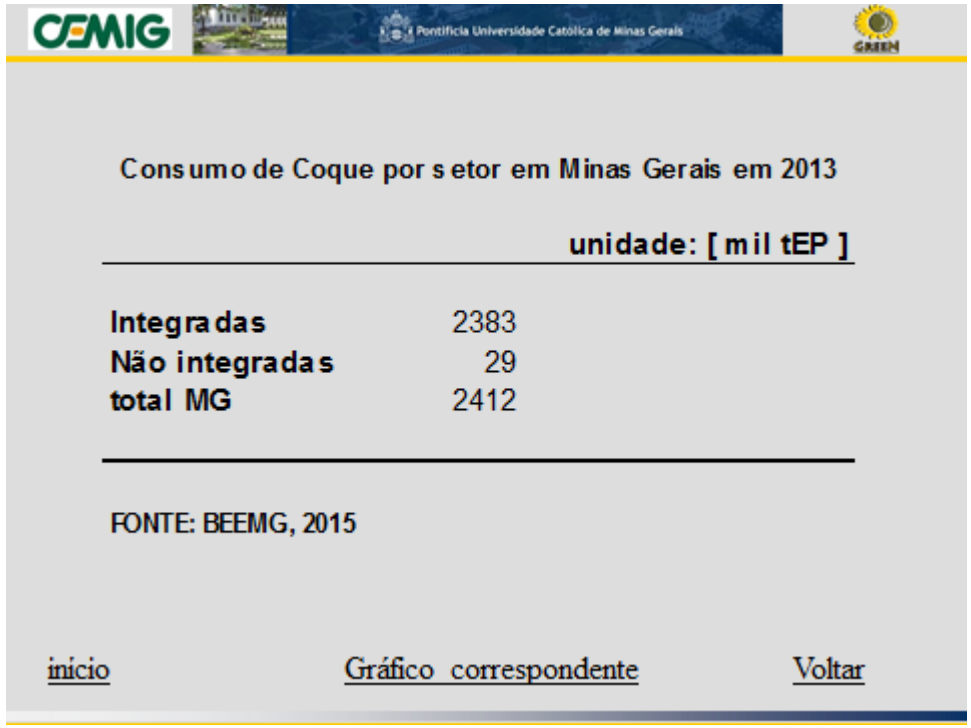
Consumo de Carvão no setor Integrado de Minas Gerais

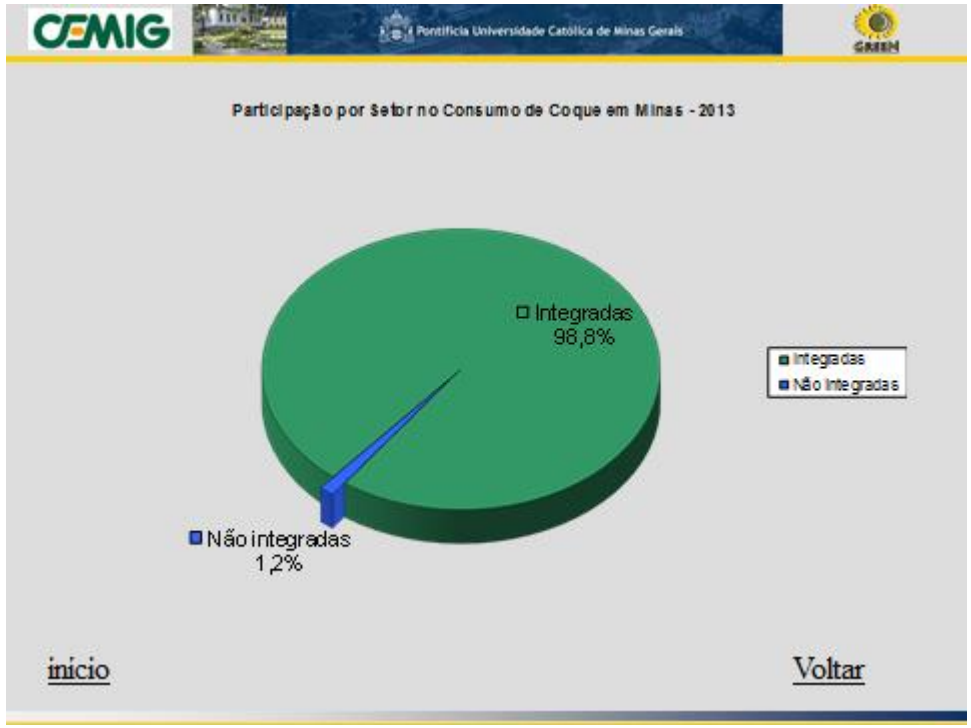
Ano	Integradas				
	Carvão vegetal	%	Coque	%	Total
2000	554	21,4	2039	78,6	2593
2001	511	19,2	2145	80,8	2656
2002	638	22,0	2256	78,0	2894
2003	606	21,2	2258	78,8	2864
2004	640	21,2	2383	78,8	3023
2005	785	25,8	2263	74,2	3048
2006	790	26,3	2212	73,7	3002
2007	744	25,0	2235	75,0	2979
2008	825	25,5	2416	74,5	3241
2009	629	25,4	1849	74,6	2478
2010	922	27,0	2492	73,0	3414
2011	972	29,1	2372	70,9	3344
2012	1042	31,0	2316	69,0	3358
2013	978	29,1	2383	70,9	3361

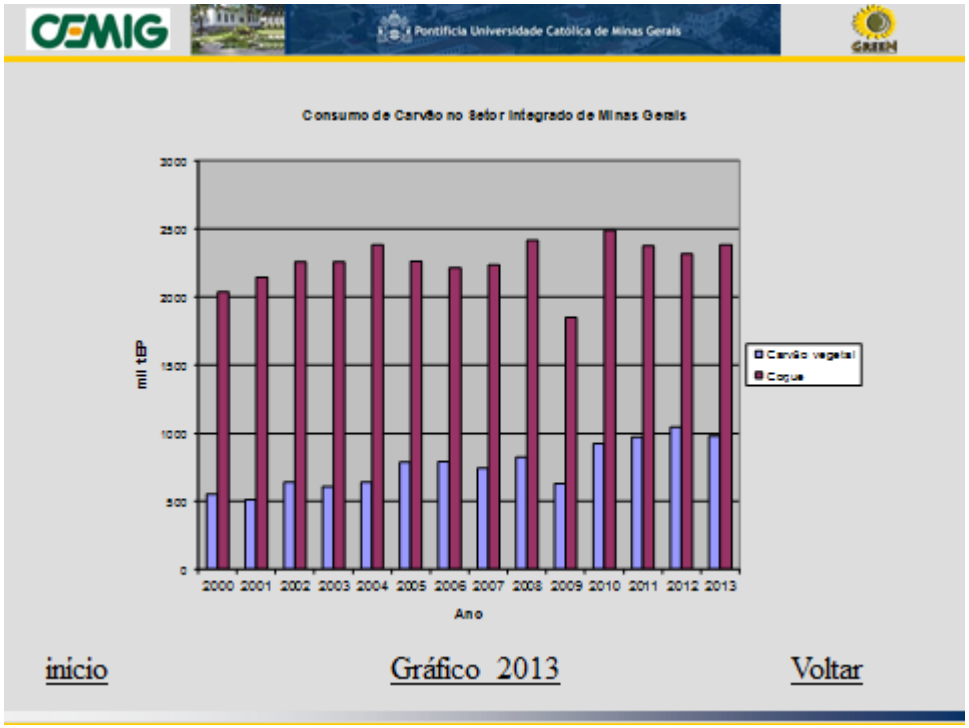
FONTE: BEEMG, 2015

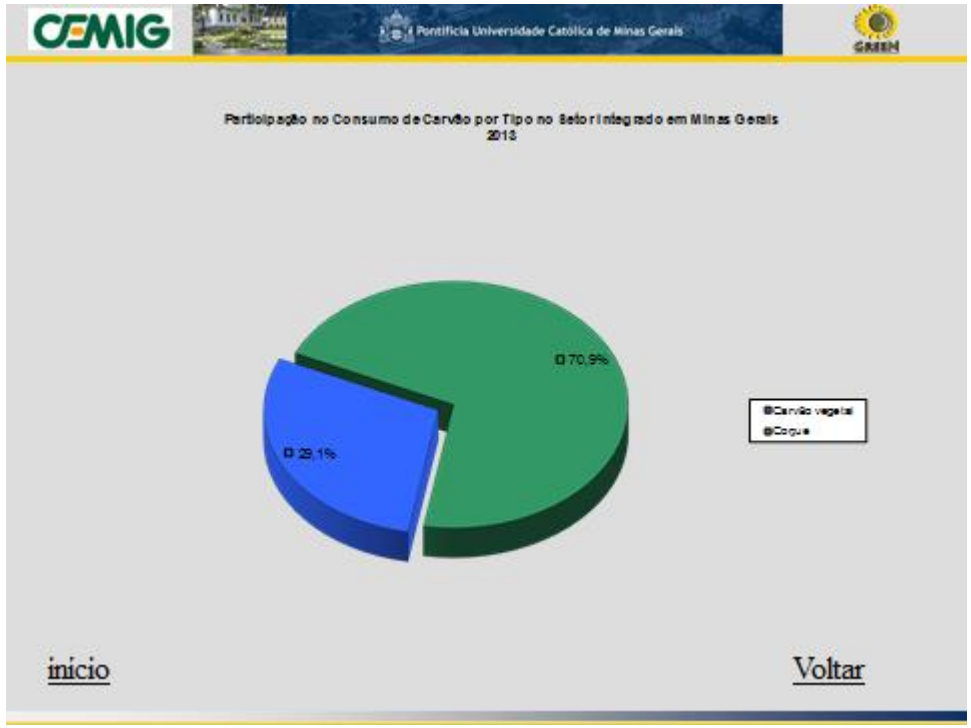
inicio Gráfico correspondente Voltar

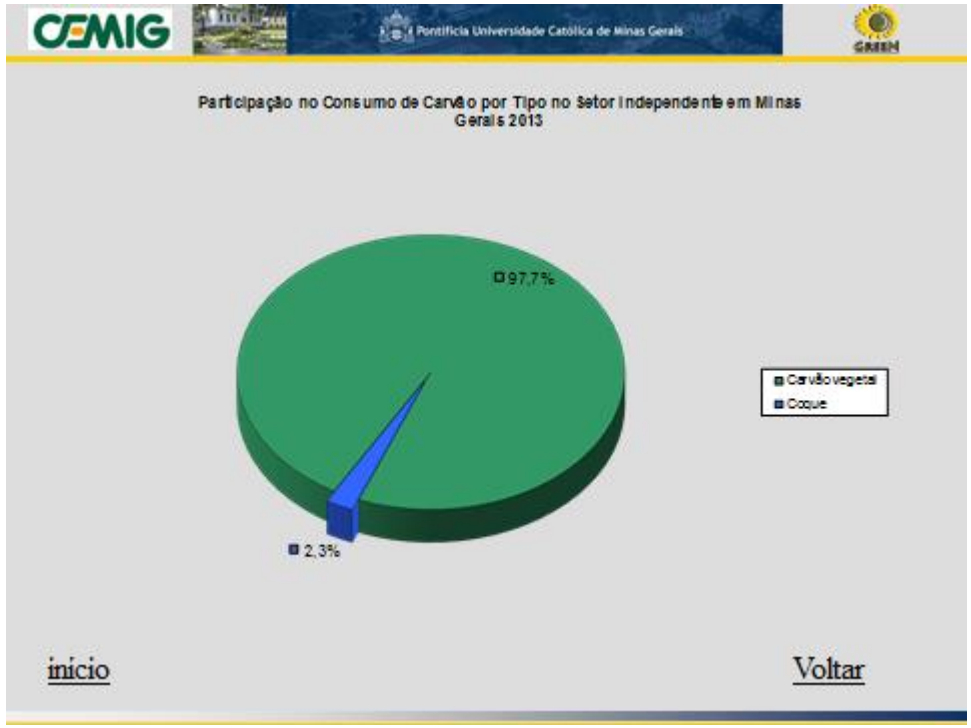

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Consumo de Carvão no setor Independente de Minas Gerais
Ano
Não-Integradas
Carvão vegetal
%
Coque
%
Total
2000 1769 94,4 104 5,6 1873
2001 1749 93,6 120 6,4 1869
2002 1721 94,0 109 6,0 1830
2003 2506 96,4 93 3,6 2599
2004 3160 98,8 40 1,3 3200
2005 2707 98,8 32 1,2 2739
2006 2507 98,7 32 1,3 2539
2007 2436 98,7 32 1,3 2468
2008 1825 98,4 30 1,6 1855
2009 1177 97,4 31 2,6 1208
2010 1848 98,5 29 1,5 1877
2011 1458 98,0 29 2,0 1487
2012 1382 97,9 29 2,1 1411
2013 1238 97,7 29 2,3 1267
FONTE: BEEMG, 2015.
início
Gráfico correspondente
Voltar

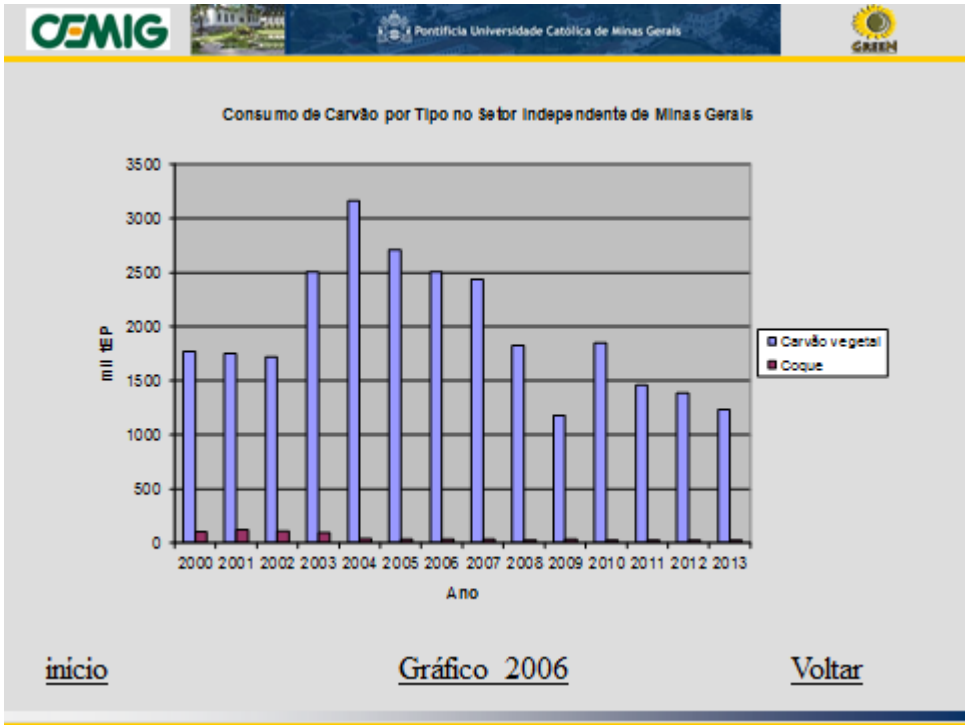

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Consumo de Coque por setor em Minas Gerais em 2013
unidade: [mil tEP]
Integradas 2383
Não integradas 29
total MG 2412
FONTE: BEEMG, 2015
início
Gráfico correspondente
Voltar

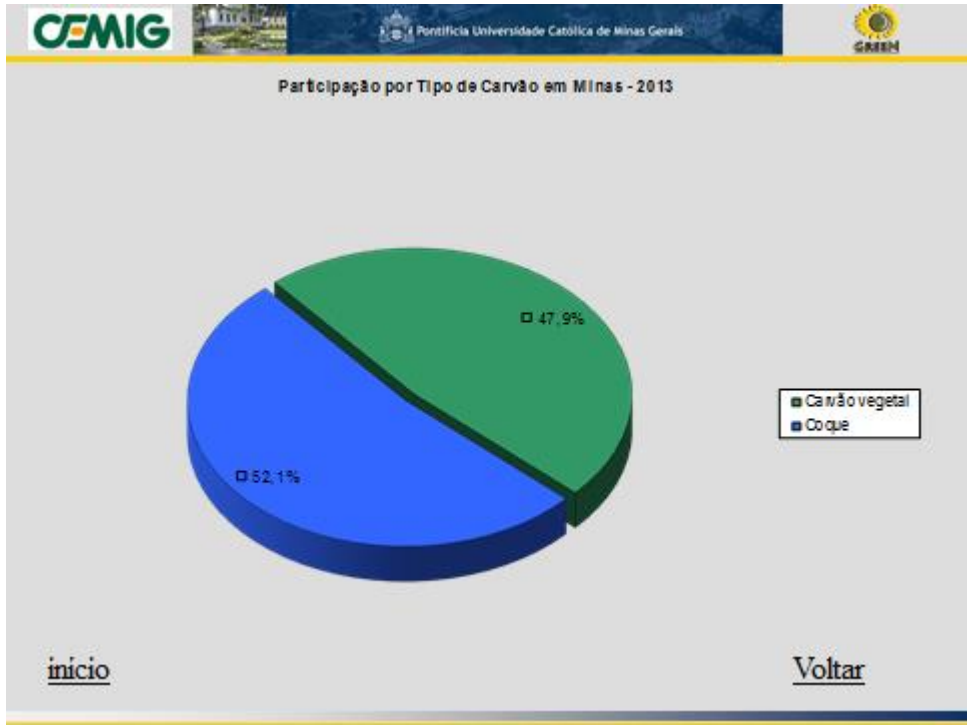

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Participação por Setor no Consumo de Coque em Minas - 2013
Integradas
98,8%
Não integradas
1,2%
Integradas
Não Integradas
início
Voltar

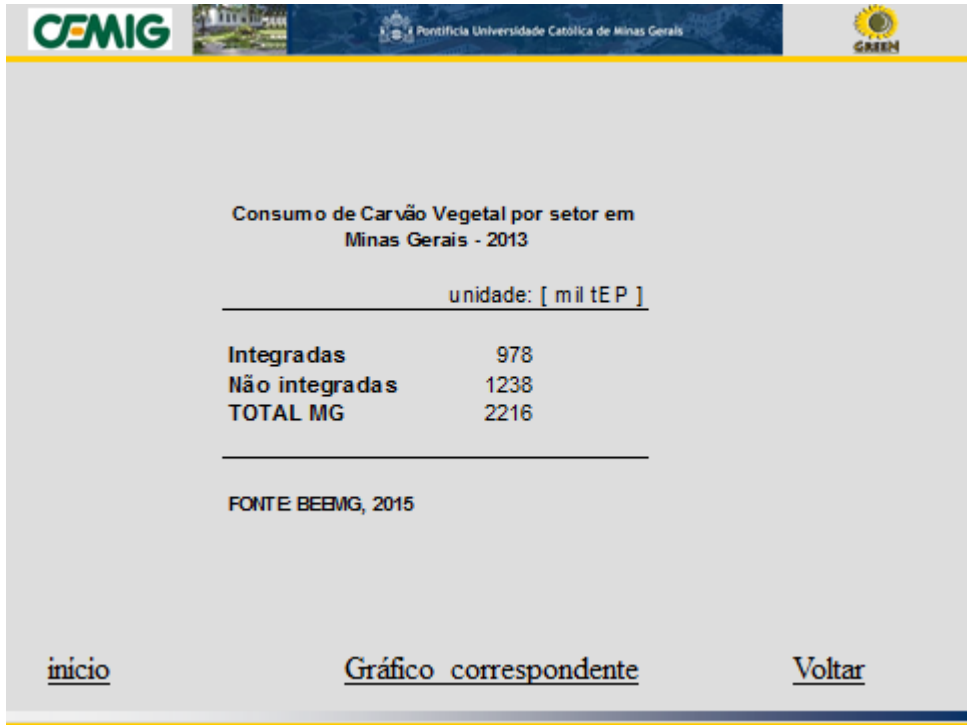

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Consumo de Carvão no Setor Integrado de Minas Gerais
mil tEP
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013
Ano
Carvão vegetal
Coque
início
Gráfico 2013
Voltar

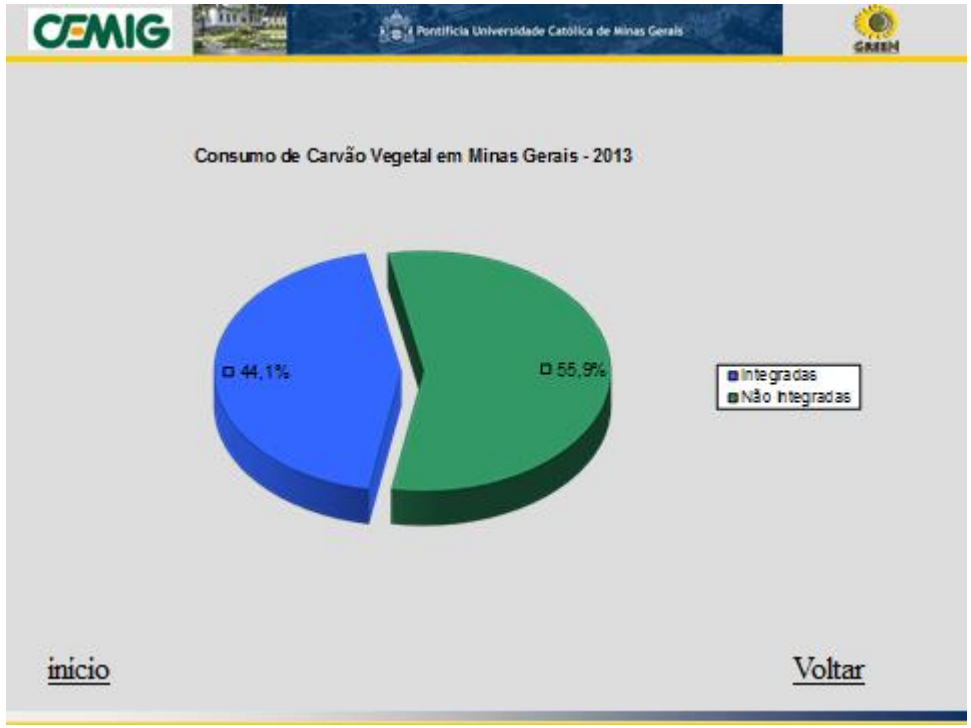

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Participação no Consumo de Carvão por Tipo no Setor Integrado em Minas Gerais
2013
70,9%
29,1%
Carvão vegetal
Coque
início
Voltar

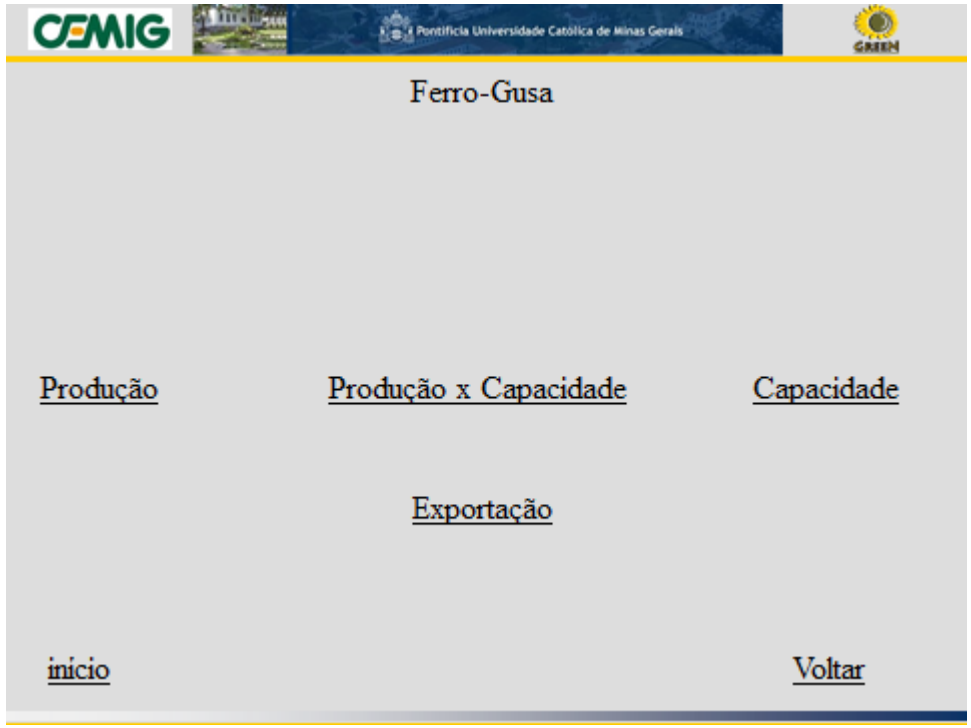

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Participação no Consumo de Carvão por Tipo no Setor Independente em Minas Gerais 2013
97,7%
2,3%
Carvão vegetal
Coque
início
Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Consumo de Carvão por Tipo no Setor Independente de Minas Gerais
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
mil tEP
2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013
Ano
Carvão vegetal
Coque
início
Gráfico 2006
Voltar

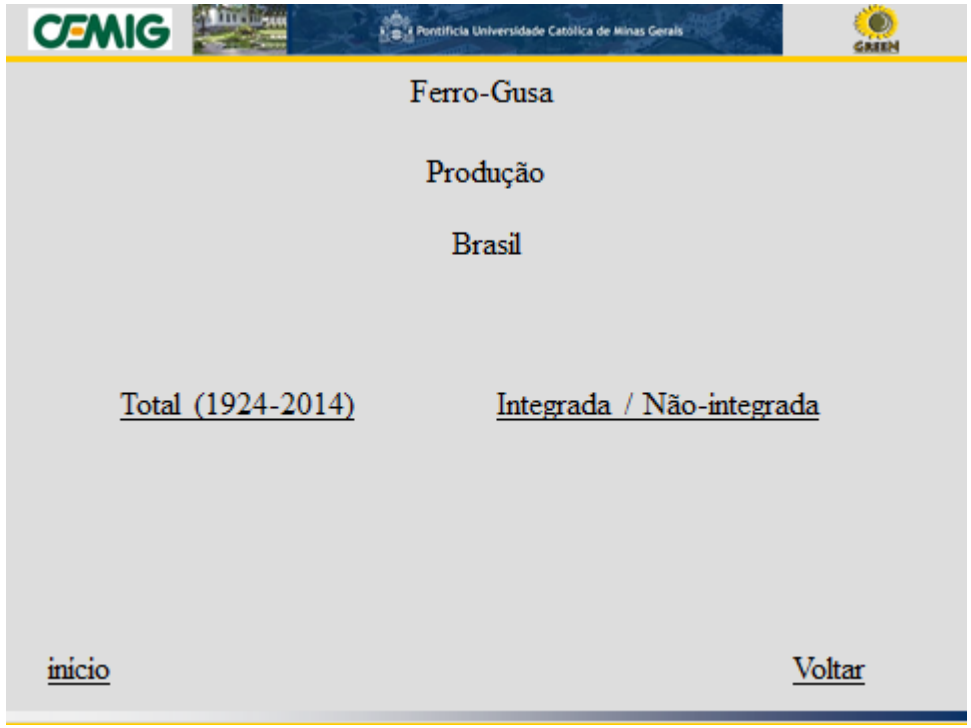

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Participação por Tipo de Carvão em Minas - 2013
47,9%
52,1%
Carvão vegetal
Coque
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Consumo de Carvão Vegetal por setor em Minas Gerais - 2013
unidade: [mil tEP]
Integradas 978
Não integradas 1238
TOTAL MG 2216
FONTE: BEEMG, 2015
início
Gráfico correspondente
Voltar

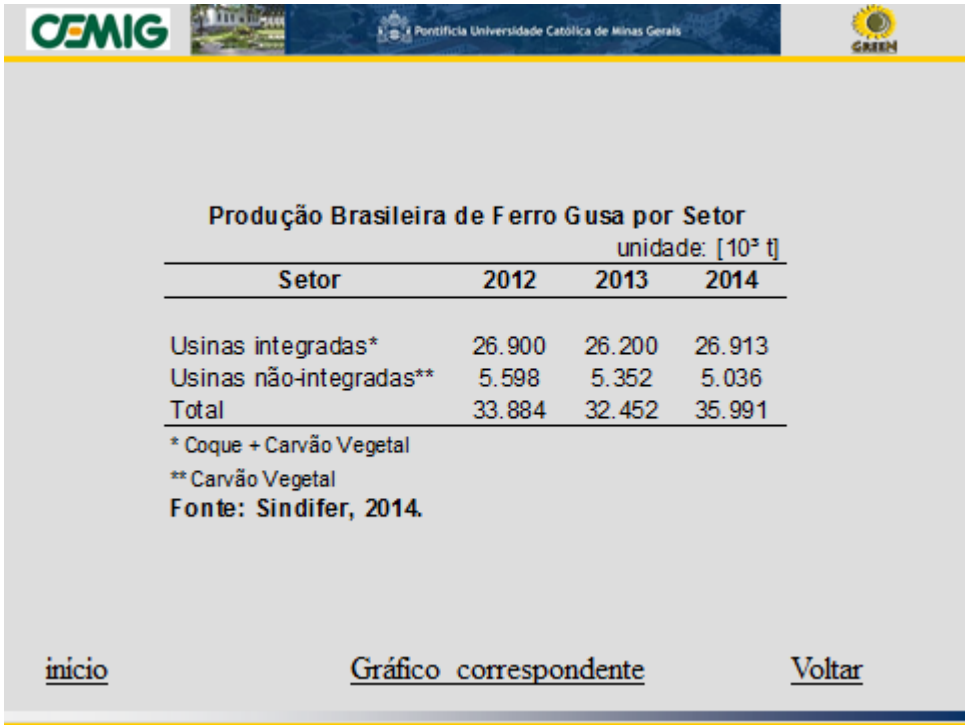

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Consumo de Carvão Vegetal em Minas Gerais - 2013
44,1%
55,9%
Integradas
Não Integradas
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Ferro-Gusa
Produção
Produção x Capacidade
Capacidade
Exportação
início
Voltar

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Ferro-Gusa
Produção
Brasil
Minas Gerais
Relação Minas/Carajás
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Ferro-Gusa
Produção
Brasil
Total (1924-2014)
Integrada / Não-integrada
início
Voltar

CEMIG Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais GREEN



Produção Brasileira de Ferro Gusa por Setor

unidade: [10^3 t]

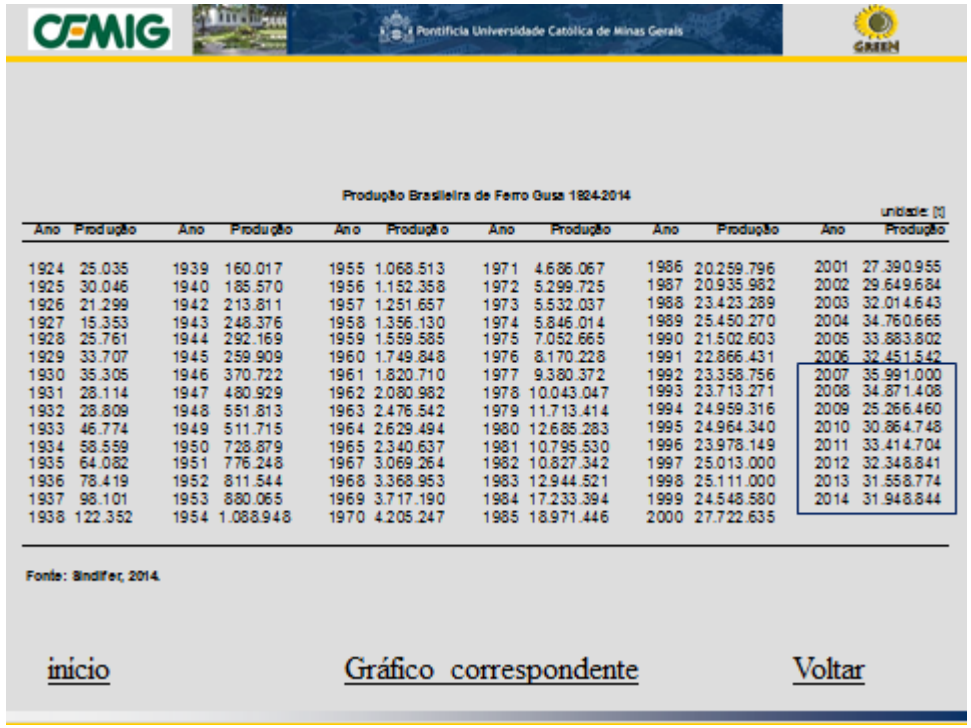
Setor	2012	2013	2014
Usinas integradas*	26.900	26.200	26.913
Usinas não-integradas**	5.598	5.352	5.036
Total	33.884	32.452	35.991

* Coque + Carvão Vegetal

** Carvão Vegetal

Fonte: Sindifer, 2014.

início Gráfico correspondente Voltar



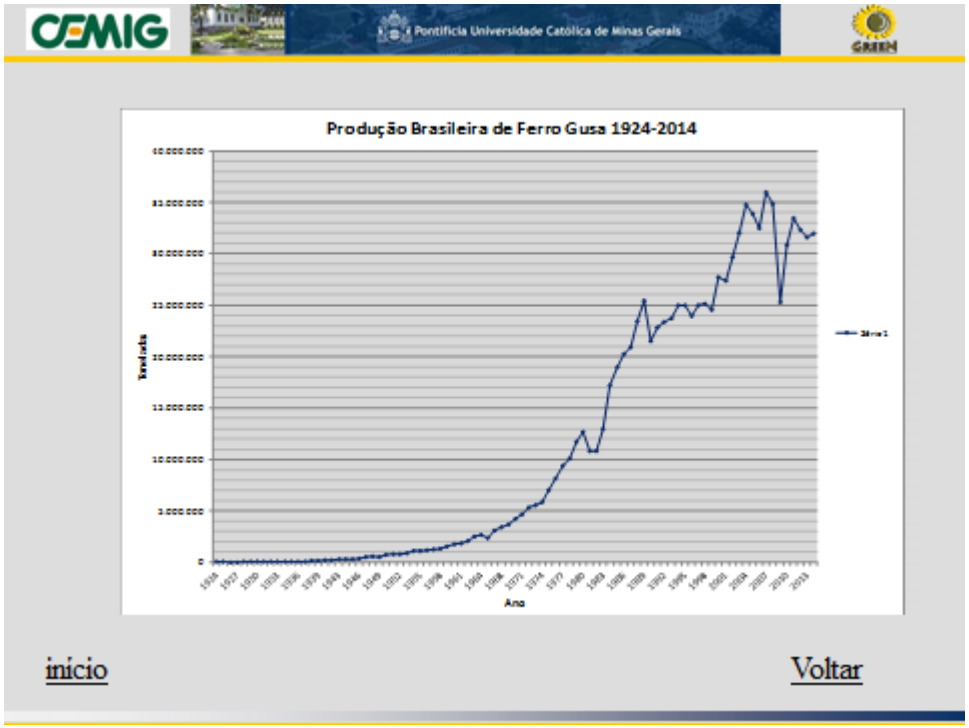
Produção Brasileira de Ferro Gusa 1924-2014

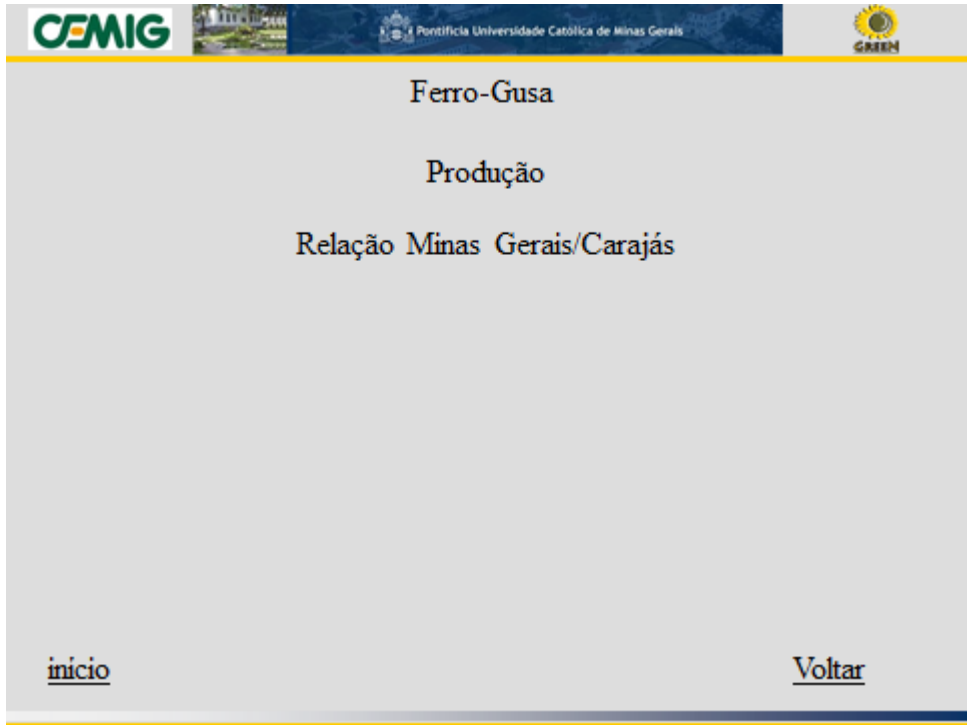
unidade: [t]

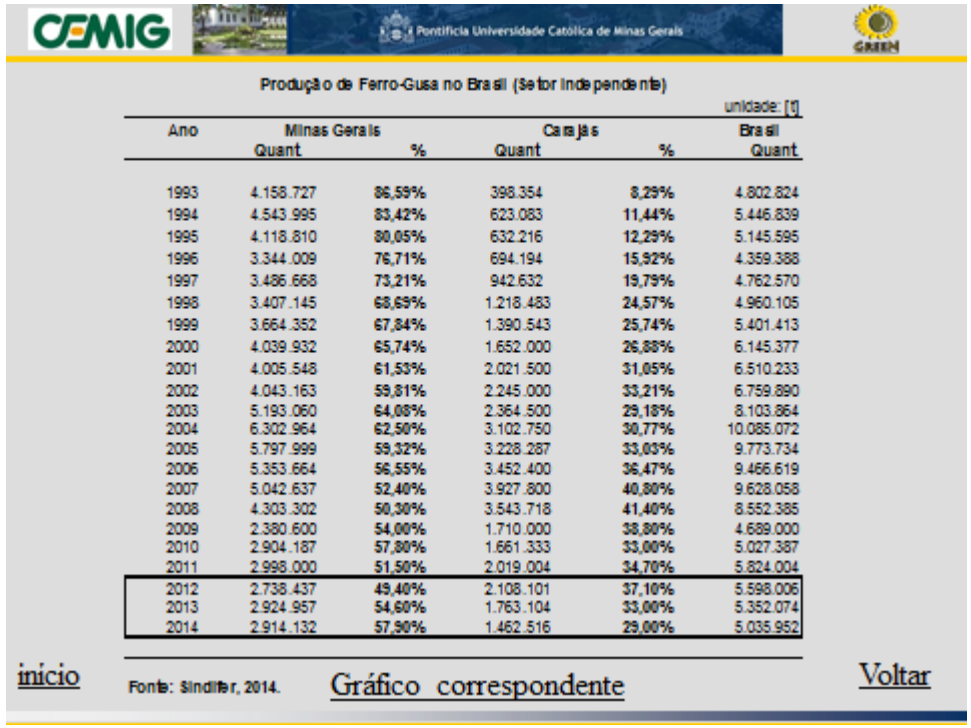
Ano	Produção	Ano	Produção	Ano	Produção	Ano	Produção	Ano	Produção	Ano	Produção
1924	25.035	1939	160.017	1955	1.068.513	1971	4.686.067	1986	20.259.796	2001	27.390.955
1925	30.046	1940	185.570	1956	1.152.358	1972	5.299.725	1987	20.935.982	2002	29.649.684
1926	21.299	1942	213.811	1957	1.251.657	1973	5.532.037	1988	23.423.289	2003	32.014.643
1927	15.353	1943	248.376	1958	1.356.130	1974	5.846.014	1989	25.450.270	2004	34.760.665
1928	25.761	1944	292.169	1959	1.559.585	1975	7.052.665	1990	21.502.603	2005	33.883.802
1929	33.707	1945	259.909	1960	1.749.848	1976	8.170.228	1991	22.866.431	2006	32.451.542
1930	35.305	1946	370.722	1961	1.820.710	1977	9.380.372	1992	23.358.756	2007	35.991.000
1931	28.114	1947	480.929	1962	2.080.982	1978	10.043.047	1993	23.713.271	2008	34.871.408
1932	28.809	1948	551.813	1963	2.476.542	1979	11.713.414	1994	24.959.316	2009	25.266.460
1933	46.774	1949	511.715	1964	2.629.494	1980	12.685.283	1995	24.964.340	2010	30.864.748
1934	58.559	1950	728.879	1965	2.340.637	1981	10.795.530	1996	23.978.149	2011	33.414.704
1935	64.082	1951	776.248	1967	3.069.264	1982	10.827.342	1997	25.013.000	2012	32.348.841
1936	78.419	1952	811.544	1968	3.368.953	1983	12.944.521	1998	25.111.000	2013	31.558.774
1937	98.101	1953	880.065	1969	3.717.190	1984	17.233.394	1999	24.548.580	2014	31.948.844
1938	122.352	1954	1.088.948	1970	4.205.247	1985	18.971.446	2000	27.722.635		

Fonte: Sindifer, 2014.

início Gráfico correspondente Voltar


Produção Brasileira de Ferro Gusa 1924-2014
Ano
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Ferro-Gusa
Produção
Relação Minas Gerais/Carajás
início
Voltar



Produção de Ferro-Gusa no Brasil (Setor Independente)

unidade: [t]

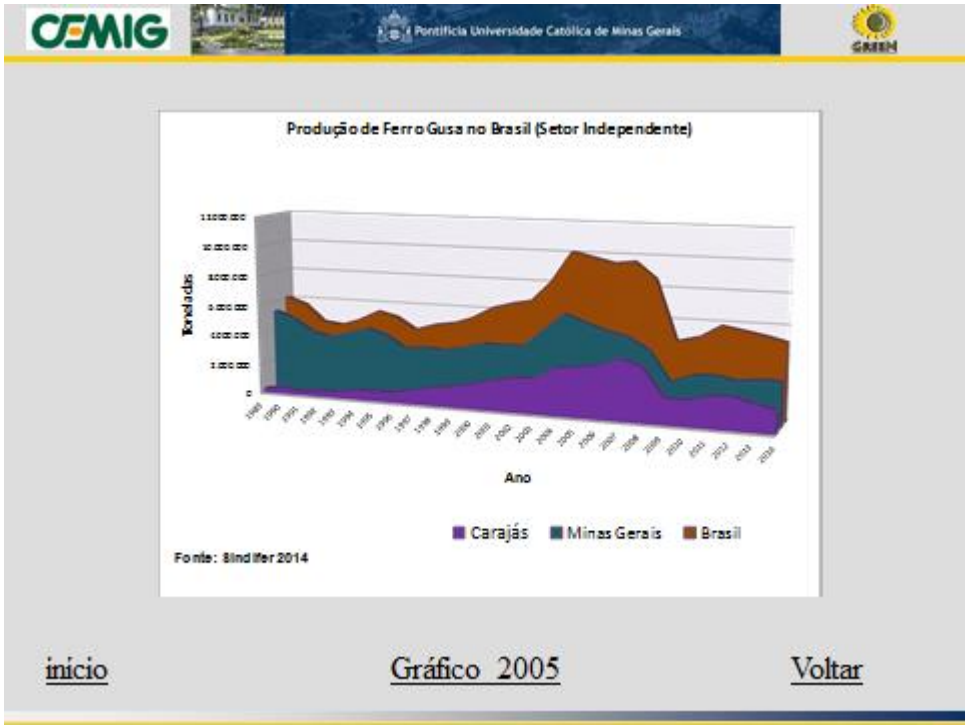
Ano	Minas Gerais		Carajás		Brasil
	Quant	%	Quant	%	Quant
1993	4.158.727	86,59%	398.354	8,29%	4.802.824
1994	4.543.995	83,42%	623.083	11,44%	5.446.839
1995	4.118.810	80,05%	632.216	12,29%	5.145.595
1996	3.344.009	76,71%	694.194	15,92%	4.359.388
1997	3.486.668	73,21%	942.632	19,79%	4.762.570
1998	3.407.145	68,69%	1.218.483	24,57%	4.960.105
1999	3.664.352	67,84%	1.390.543	25,74%	5.401.413
2000	4.039.932	65,74%	1.652.000	26,88%	6.145.377
2001	4.005.548	61,53%	2.021.500	31,05%	6.510.233
2002	4.043.163	59,81%	2.245.000	33,21%	6.759.890
2003	5.193.060	64,08%	2.364.500	29,18%	8.103.864
2004	6.302.964	62,50%	3.102.750	30,77%	10.085.072
2005	5.797.999	59,32%	3.228.287	33,03%	9.773.734
2006	5.353.664	56,55%	3.452.400	36,47%	9.466.619
2007	5.042.637	52,40%	3.927.800	40,80%	9.628.058
2008	4.303.302	50,30%	3.543.718	41,40%	8.552.385
2009	2.380.600	54,00%	1.710.000	38,80%	4.689.000
2010	2.904.187	57,80%	1.661.333	33,00%	5.027.387
2011	2.998.000	51,50%	2.019.004	34,70%	5.824.004
2012	2.738.437	49,40%	2.108.101	37,10%	5.598.006
2013	2.924.957	54,60%	1.763.104	33,00%	5.352.074
2014	2.914.132	57,90%	1.462.516	29,00%	5.035.952

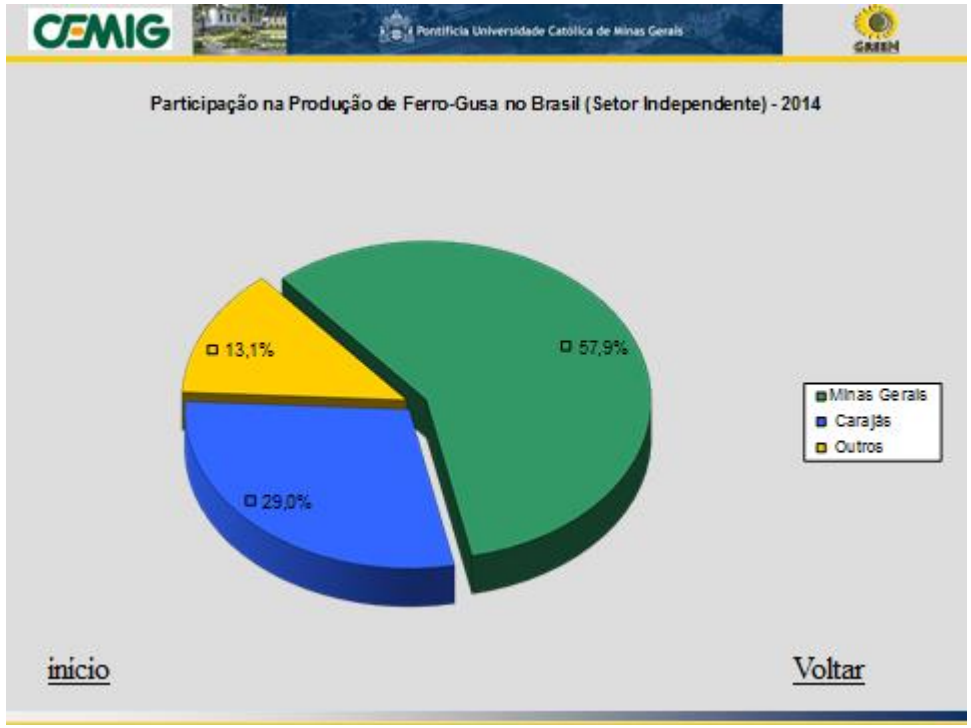
inicio

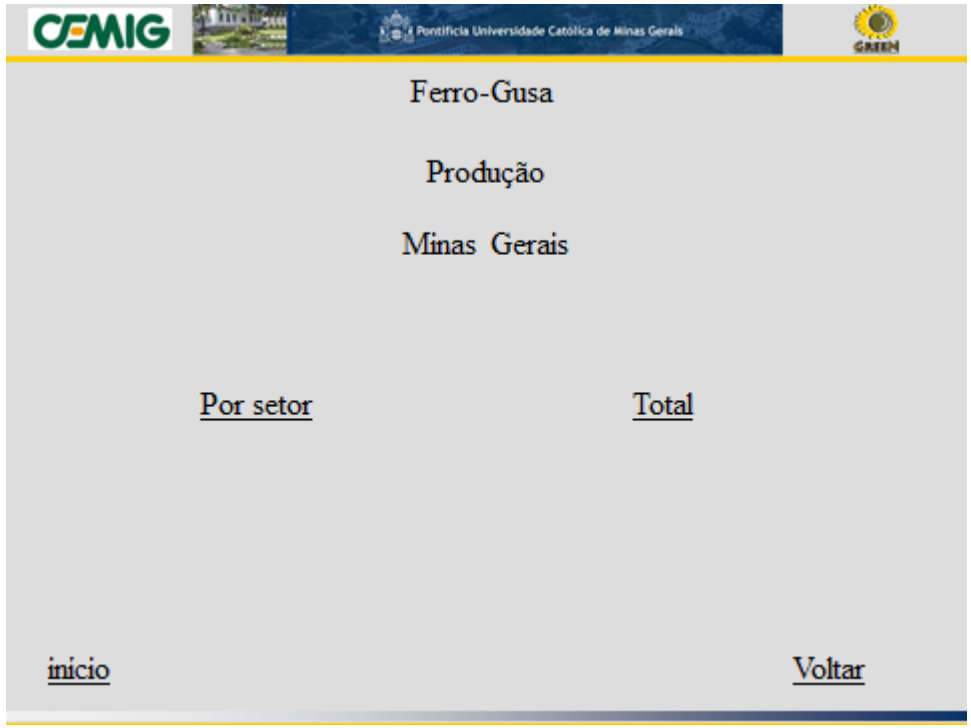
Fonte: Sindifer, 2014.

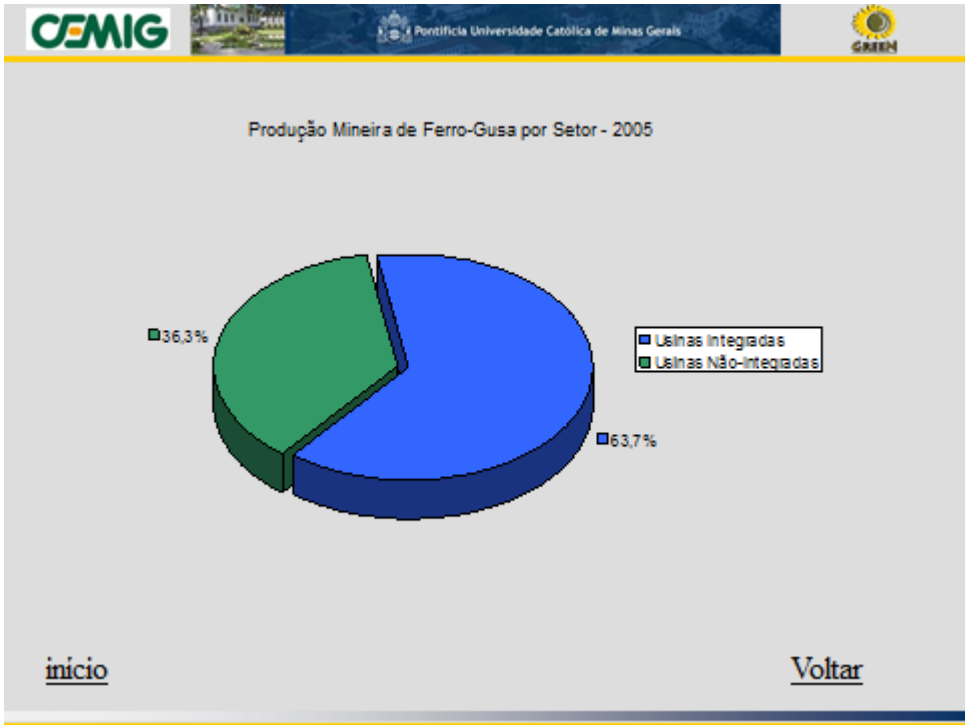
Gráfico correspondente

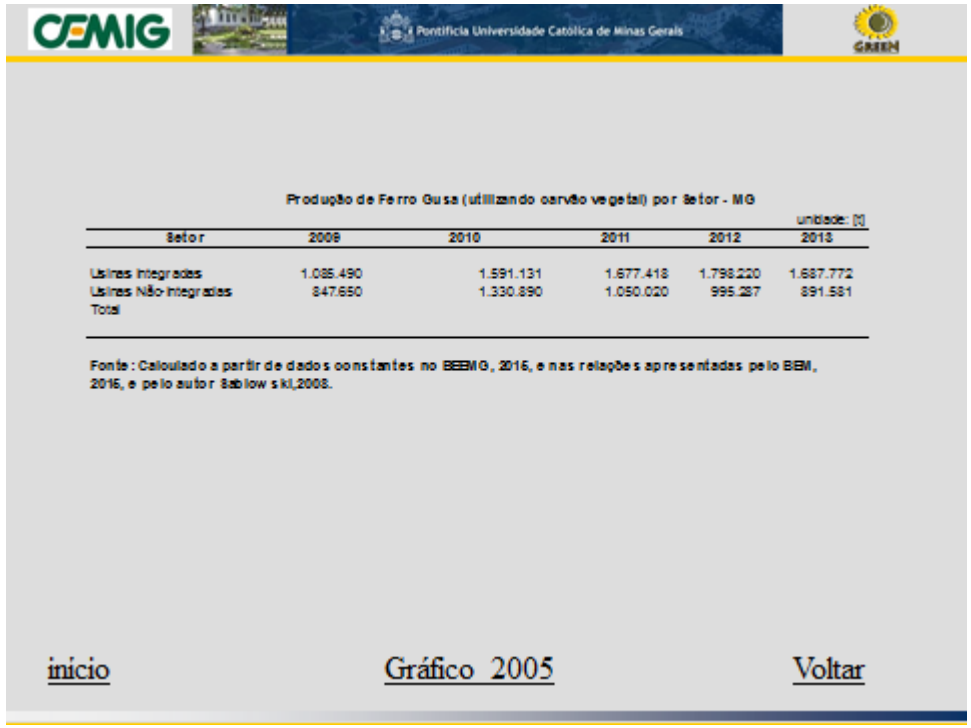
Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Produção de Ferro Gusa no Brasil (Setor Independente)
Toneladas
Ano
Carajás
Minas Gerais
Brasil
Fonte: Sindifer 2014
início
Gráfico 2005
Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Participação na Produção de Ferro-Gusa no Brasil (Setor Independente) - 2014
13,1%
57,9%
29,0%
Minas Gerais
Carajás
Outros
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Ferro-Gusa
Produção
Minas Gerais
Por setor
Total
início
Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Produção Mineira de Ferro-Gusa por Setor - 2005
36,3%
63,7%
Usinas Integradas
Usinas Não-Integradas
início
Voltar



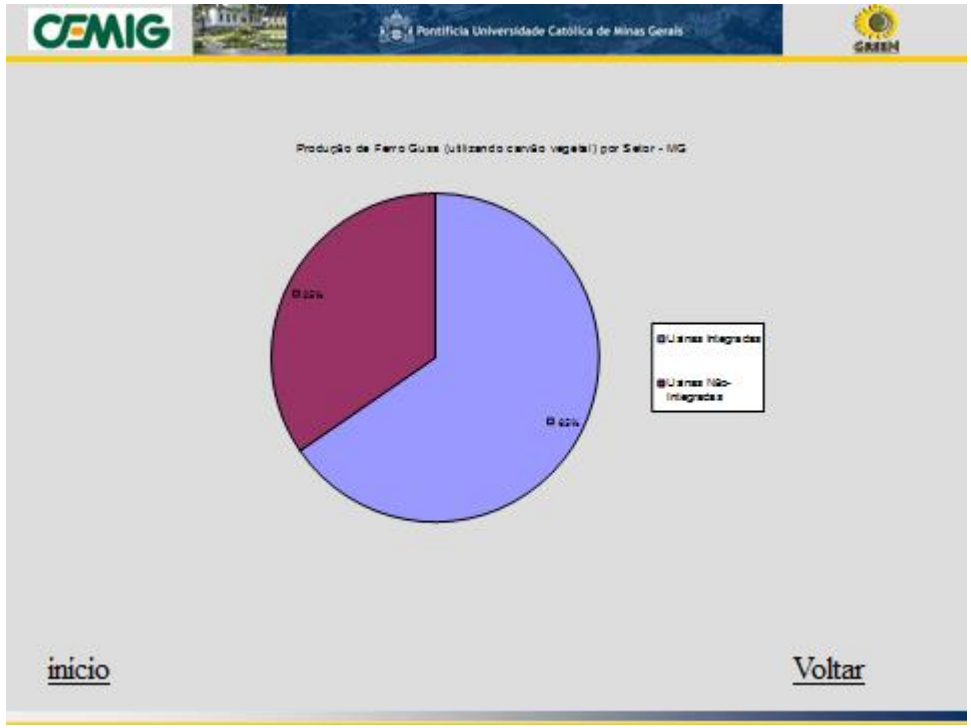
Produção de Ferro Gusa (utilizando carvão vegetal) por Setor - MG

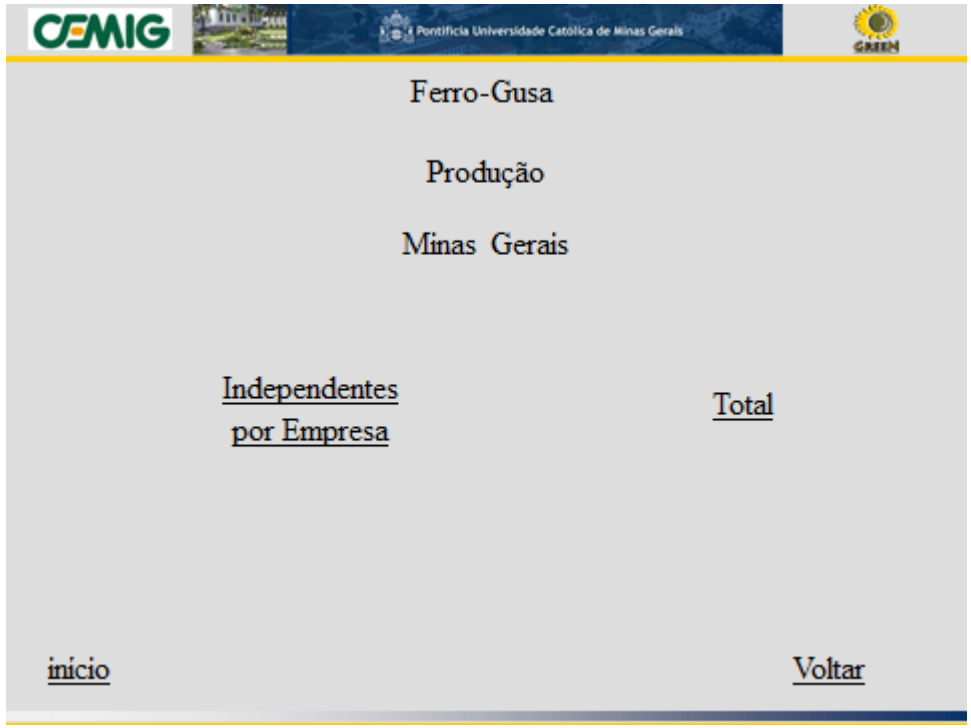
unidade: [t]

Setor	2009	2010	2011	2012	2013
Usinas Integradas	1.085.490	1.591.131	1.677.418	1.798.220	1.687.772
Usinas Não-Integradas	847.650	1.330.890	1.050.020	995.287	891.581
Total					

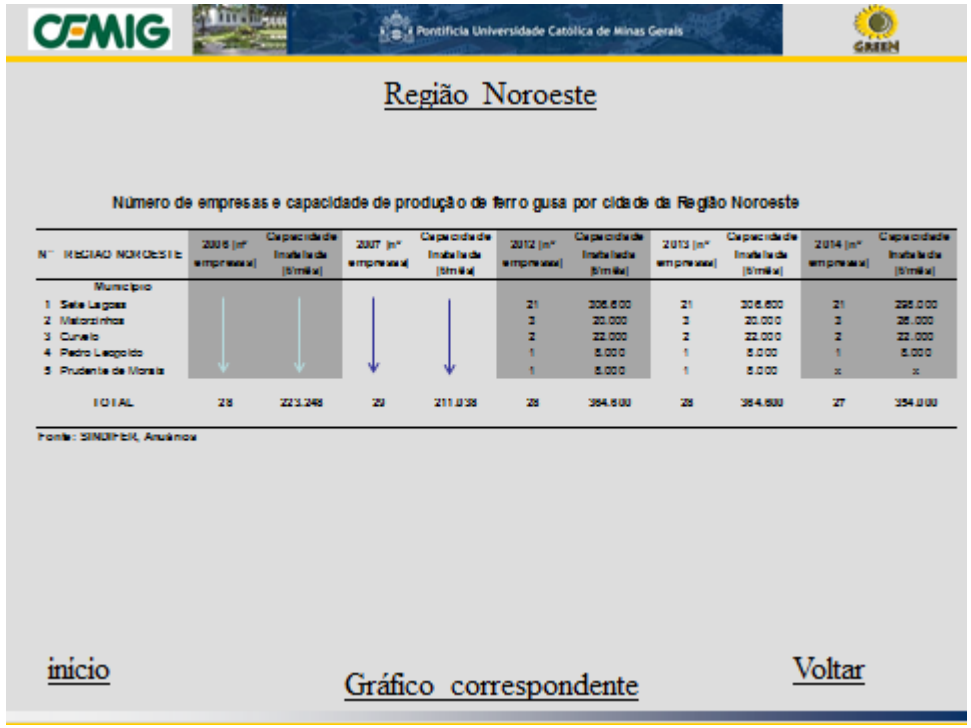
Fonte: Calculado a partir de dados constantes no BEEMG, 2015, e nas relações apresentadas pelo BEM, 2015, e pelo autor Sablowski,2008.

início Gráfico 2005 Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Produção de Ferro Gusa (utilizando carvão vegetal) por Setor - MG
Usinas Integradas
Usinas Não-Integradas
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Ferro-Gusa
Produção
Minas Gerais
Independentes por Empresa
Total
início
Voltar

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Ferro-Gusa
Produção/Capacidade
Minas Gerais
Independentes por Empresa
Região Noroeste
Região Oeste
Grande BH/Outros
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Região Noroeste
Número de empresas e capacidade de produção de ferro gusa por cidade da Região Noroeste
Nº REGIÃO NOROESTE
2006 (nº empresas)
Capacidade instalada (t/mês)
2007 (nº empresas)
Capacidade instalada (t/mês)
2012 (nº empresas)
Capacidade instalada (t/mês)
2013 (nº empresas)
Capacidade instalada (t/mês)
2014 (nº empresas)
Capacidade instalada (t/mês)
Município
1 Sete Lagoas 21 306.600 21 306.600 21 295.000
2 Matozinhos 3 20.000 3 20.000 3 26.000
3 Curvelo 2 22.000 2 22.000 2 22.000
4 Pedro Leopoldo 1 6.000 1 6.000 1 6.000
5 Prudente de Morais 1 6.000 1 6.000 x x
TOTAL 28 223.248 29 211.038 28 384.600 28 384.600 27 354.000
Fonte: SINDIFER, Anuários
início
Gráfico correspondente
Voltar

CEMIG

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

GREEN

Produção de Ferro Gusa por empresa/ano - NOROESTE

	EMPRESAS REGIÃO NOROESTE	CNPJ	TOTAL consumido de Carvão Vegetal (mdc)	Cálculo de massa do Carvão Vegetal (tonelada)	TOTAL de Ferro Gusa produzido
1	AVG SIDERURGIA LTDA	20.176.160/0002-84	735213,4	183803,35	204908,9744
2	CITYGUSA SIDERURGIA LTDA	02.167.722/0001-60	218782,5	54695,625	60976,17057
3	COMPANHIA SETELAGOANA DE SIDERURGIA - COSSISA	16.942.195/0001-39	0	0	0
4	COSIMAT - SIDERURGICA DE MATOZINHOS LTDA	03.200.559/0001-53	276603,74	69150,935	77091,34337
5	FERGUBEL - FERRO GUSA BELA VISTA LTDA - MATOZINHOS	06.268.447/0001-02	229469,97	57367,4925	63954,84114
6	FERGUBRAS - FERRO GUSA DO BRASIL LTDA	08.807.287/0001-60	220239	55059,75	61382,10702
7	GERDAU AÇOS LONGOS S/A-SETE LAGOAS	07.358.761/0058-02	417947,9	104486,975	116484,922
8	INSIVI INDUSTRIA SIDERURGICA VIANA LTDA	20.174.157/0001-40	0	0	0
9	ITASIDER-USINA SIDERURGICA ITAMINAS S/A	16.852.451/0002-78	0	0	0
10	METALSETE SIDERURGIA LTDA	23.285.979/0001-54	161271,1	40317,775	44947,35229
11	MGS MINAS GERAIS SIDERURGIA LTDA	25.988.676/0002-47	0	0	0
12	PLANTAR SIDERURGICA S/A	20.288.757/0001-01	651242,6705	162810,6676	181505,761
13	SAMA - SANTA MARTA SIDERURGIA LTDA	19.881.671/0001-37	154797,2	38699,3	43143,03233
14	SICAFE PRODUTOS SIDERURGICOS LTDA	25.003.856/0001-41	0	0	0
15	SIDERMIN SIDERURGICA MINEIRA LTDA	04.795.087/0001-04	271113	67778,25	75561,03679
16	SIDERPAM SIDERÚRGICA LTDA	19.326.253/0001-04	379162,7	94790,675	105675,223
17	SIDERURGICA BANDEIRANTES LTDA	20.145.421/0001-18	172108	43027	47967,67001
18	SIDERURGICA BARÃO DE MAUÁ	07.022.780/0001-10	122232,53	30558,1325	34067,03735
19	SIDERÚRGICA NOROESTE LTDA	24.987.453/0001-57	191607,7143	47901,92856	53402,37298
20	SIDERURGICA TERRA LTDA	09.639.962/0001-60	358912,5	89728,125	100031,3545
21	SIFERBOCA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	18.424.920/0001-00	128217,3	32054,325	35735,03344
22	TECNOSIDER SIDERURGIA LTDA	03.857.494/0001-88	257247,81	64311,9525	71696,71405
23	USINA SIDERURGICA SETE LAGOAS LTDA	04.260.882/0001-57	0	0	0
24	VIENA SIDERURGICA S/A	07.609.893/0009-04	0	0	0
25	VOTORANTIM SIDERURGIA S.A	60.892.403/0073-89	376218,54	94054,635	104854,6555
	TOTAL GERAL:		5322387,575	1330596,894	1483385,612

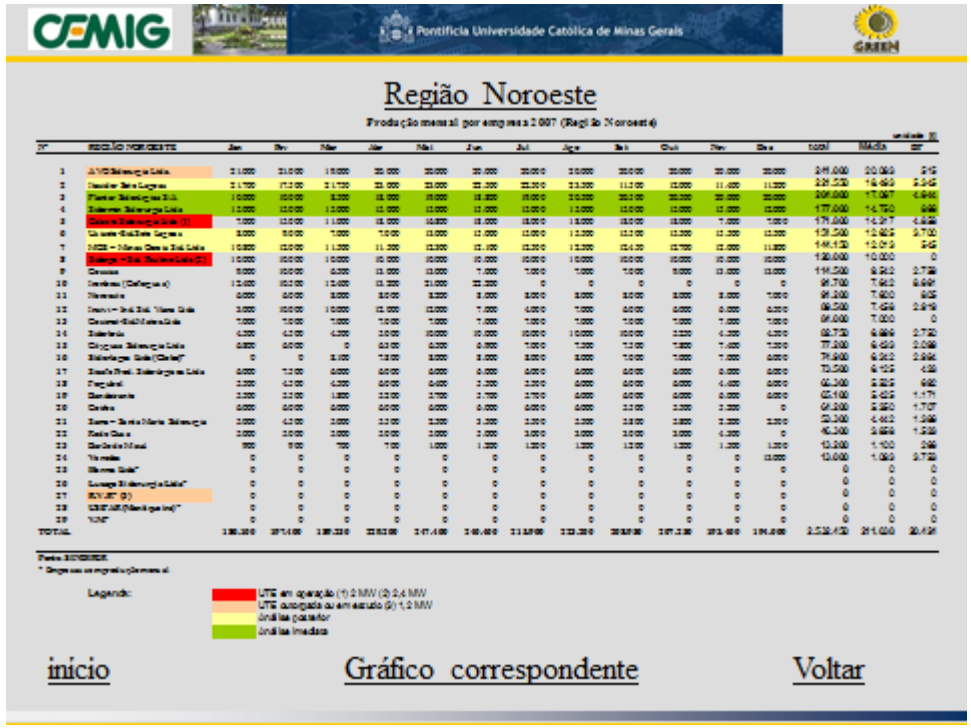
Densidade do carvão vegetal (segundo o Balanço Nacional) 250 Kg/m³

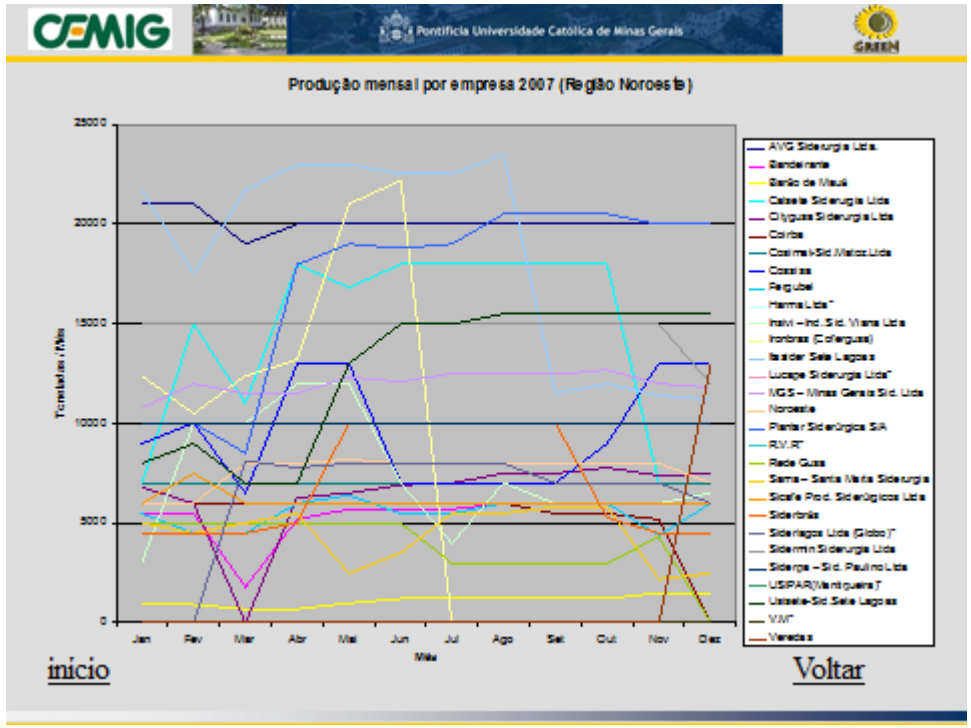
0,25 tonelada/m³

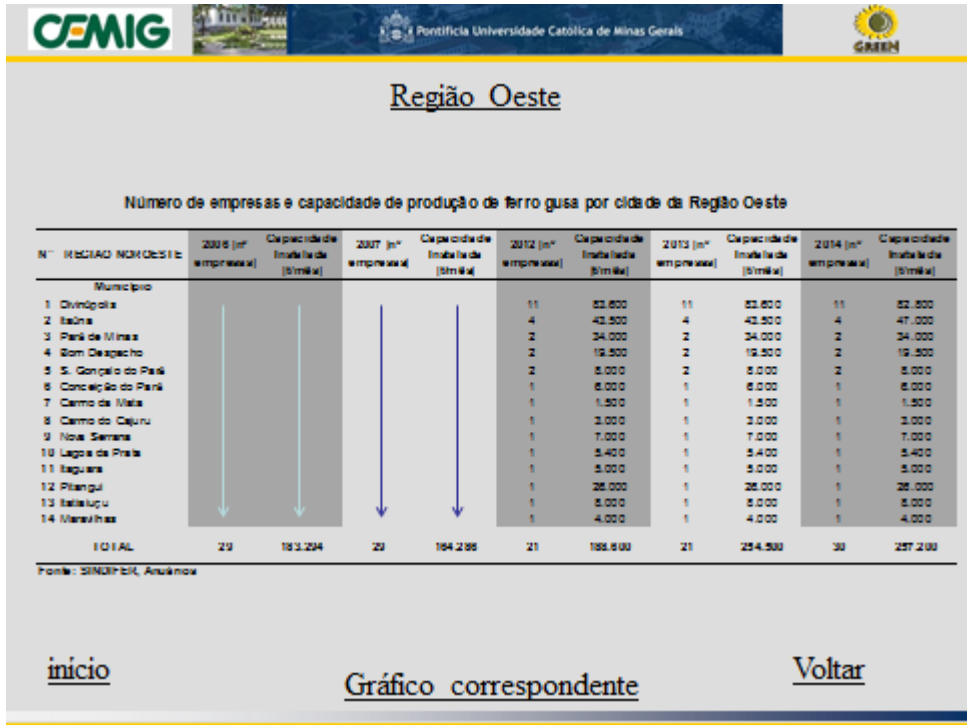
Quantidade de carvão vegetal para produção de 1 tonelada de ferro gusa (SABLOWSKI, 2008) 0,897 tonelada de C.V.

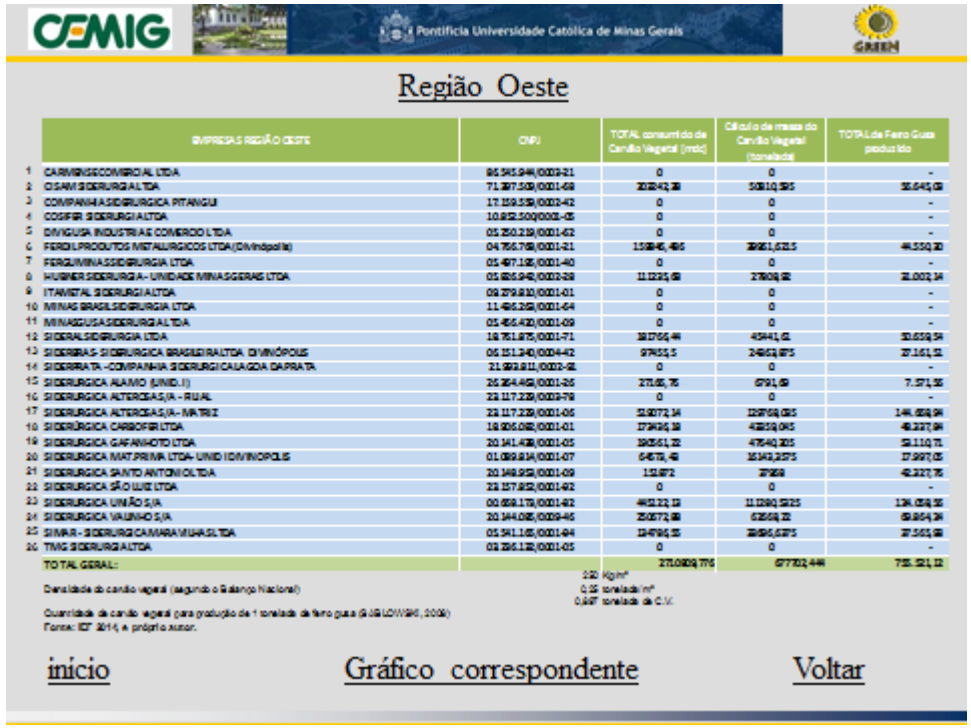
Fonte: IEF 2014, e próprio autor.

início Gráfico correspondente Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Região Noroeste
Produção mensal por empresa 2007 (Região Noroeste)
Nº
REGIÃO NOROESTE
Jan
Fev
Mar
Abr
Mai
Jun
Jul
Ago
Set
Out
Nov
Dez
total
Média
DP
TOTAL
Legenda:
início
Gráfico correspondente
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Produção mensal por empresa 2007 (Região Noroeste)
25000
20000
15000
10000
5000
0
Toneladas / Mês
Jan
Fev
Mar
Abr
Mai
Jun
Jul
Ago
Set
Out
Nov
Dez
Mês
AVG Siderurgia Ltda.
Bandeirante
Barão de Mauá
Caisete Siderurgia Ltda
Cityguss Siderurgia Ltda
Coirba
Cosimal-Sid.Matoz.Ltda
Cossisa
Fergubel
Harma Ltda*
Insivi – Ind. Sid. Viana Ltda
Ironbras (Cofergusa)
Itasider Sete Lagoas
Lucape Siderurgia Ltda*
MGS – Minas Gerais Sid. Ltda
Noroeste
Plantar Siderúrgica S/A
R.V.R*
Rede Gusa
Sama – Santa Marta Siderurgia
Sicafe Prod. Siderúrgicos Ltda
Siderbrás
Siderlagos Ltda (Globo)*
Sidermin Siderurgia Ltda
Siderpa – Sid. Paulino Ltda
USIPAR(Mantiqueira)*
Usisete-Sid.Sete Lagoas
V.M*
Veredas
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Região Oeste
Número de empresas e capacidade de produção de ferro gusa por cidade da Região Oeste
Nº REGIÃO NOROESTE
2006 (nº empresas)
Capacidade instalada (t/mês)
2007 (nº empresas)
Capacidade instalada (t/mês)
2012 (nº empresas)
Capacidade instalada (t/mês)
2013 (nº empresas)
Capacidade instalada (t/mês)
2014 (nº empresas)
Capacidade instalada (t/mês)
Município
1 Divinópolis 11 83.600 11 83.600 11 83.600
2 Itaúna 4 42.500 4 42.500 4 47.000
3 Pará de Minas 2 34.000 2 34.000 2 34.000
4 Bom Despacho 2 19.500 2 19.500 2 19.500
5 S. Gonçalo do Pará 2 6.000 2 6.000 2 6.000
6 Conceição do Pará 1 6.000 1 6.000 1 6.000
7 Carmo da Mata 1 1.500 1 1.500 1 1.500
8 Carmo do Cajuru 1 3.000 1 3.000 1 3.000
9 Nova Serrana 1 7.000 1 7.000 1 7.000
10 Lagoa da Prata 1 5.400 1 5.400 1 5.400
11 Itaguara 1 5.000 1 5.000 1 5.000
12 Pitangui 1 26.000 1 26.000 1 26.000
13 Itatiaiuçu 1 6.000 1 6.000 1 6.000
14 Maravilhas 1 4.000 1 4.000 1 4.000
TOTAL 29 183.234 29 184.286 21 188.600 21 254.500 30 257.200
Fonte: SINDIFER, Anuários
início
Gráfico correspondente
Voltar



CEMIG

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

GREEN

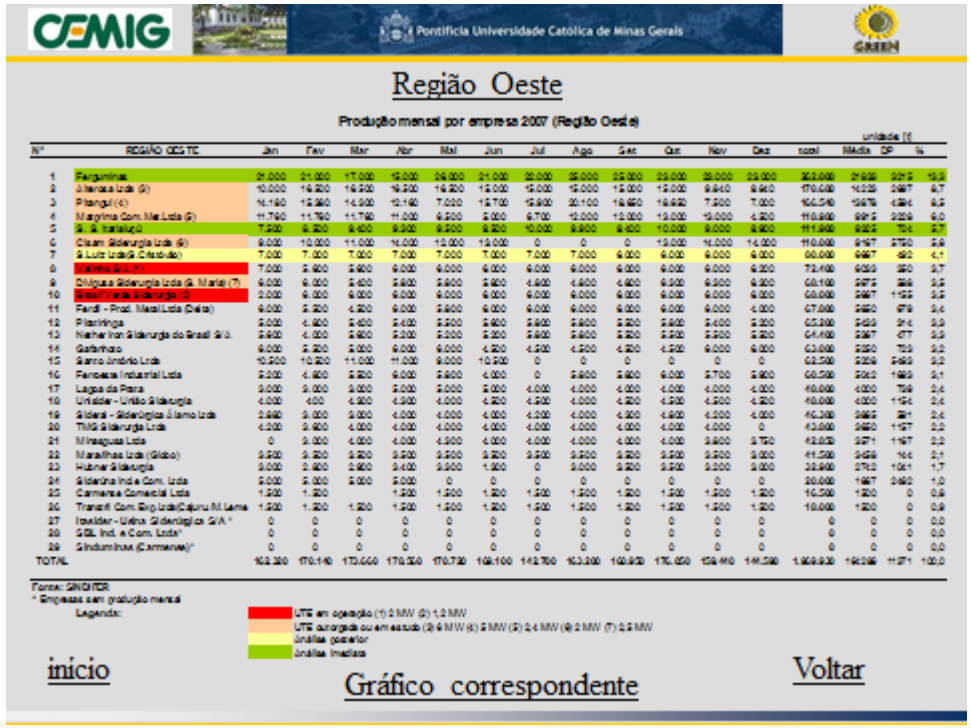
Região Oeste

	EMPRESAS REGIÃO OESTE	CNPJ	TOTAL consumido de Carvão Vegetal (mdc)	Cálculo de massa do Carvão Vegetal (toneladas)	TOTAL de Ferro Gusa produzido
1	CARMENSECOMERCIAL LTDA	86.545.944/0003-21	0	0	-
2	CISAM SIDERURGIA LTDA	71.397.509/0001-68	203242,39	50810,595	55.645,03
3	COMPANHIA SIDERURGICA PITANGUI	17.159.559/0002-42	0	0	-
4	COSIFER SIDERURGIA LTDA	10.852.500/0001-05	0	0	-
5	DIVIGUSA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	05.250.219/0001-62	0	0	-
6	FERDIL PRODUTOS METALURGICOS LTDA (Divinópolis)	04.766.768/0001-21	159846,486	39961,6215	44.550,30
7	FERGUMINAS SIDERURGIA LTDA	05.497.195/0001-40	0	0	-
8	HUSNER SIDERURGIA - UNIDADE MINAS GERAIS LTDA	05.826.942/0002-28	111235,69	27808,92	31.002,14
9	ITAMETAL SIDERURGIA LTDA	09.279.810/0001-01	0	0	-
10	MINAS BRASIL SIDERURGIA LTDA	11.486.268/0001-64	0	0	-
11	MINAS GUSA SIDERURGIA LTDA	05.456.420/0001-09	0	0	-
12	SIDERAL SIDERURGIA LTDA	18.761.875/0001-71	181766,44	45441,61	50.659,54
13	SIDERBRAS- SIDERURGICA BRASILEIRA LTDA DIVINÓPOLIS	06.151.340/0004-42	97455,5	24363,875	27.161,51
14	SIDERRATA -COMPANHIA SIDERURGICA LAGOA DA PRATA	21.993.811/0002-91	0	0	-
15	SIDERURGICA ALAMO (UNID. I)	26.364.469/0001-26	27165,76	6791,69	7.571,56
16	SIDERURGICA ALTEROSA S/A - FILIAL	23.117.239/0003-79	0	0	-
17	SIDERURGICA ALTEROSA S/A - MATRIZ	23.117.239/0001-06	519072,14	129768,035	144.658,94
18	SIDERÚRGICA CARBOFER LTDA	18.906.082/0001-01	173436,18	43359,045	48.337,84
19	SIDERURGICA GAFANHOTO LTDA	20.141.438/0001-05	190561,22	47640,305	53.110,71
20	SIDERURGICA MAT.PRIMA LTDA- UNID I DIVINOPOLIS	01.099.814/0001-07	64578,48	16143,3575	17.997,05
21	SIDERURGICA SANTO ANTONIO LTDA	20.148.953/0001-09	151872	37968	42.327,76
22	SIDERURGICA SÃO LUIZ LTDA	23.157.852/0001-92	0	0	-
23	SIDERURGICA UNIÃO S/A	00.659.173/0001-92	445122,13	111280,5325	134.058,55
24	SIDERURGICA VALINHOS S/A	20.144.085/0009-46	250672,88	62668,22	69.864,34
25	SIMAR - SIDERURGICA MARAVILHA S.LTDA	05.541.165/0001-94	134786,55	33696,6375	37.565,98
26	TMG SIDERURGIA LTDA	03.236.132/0001-05	0	0	-
	TOTAL GERAL:		2710809,776	677702,444	755.521,12

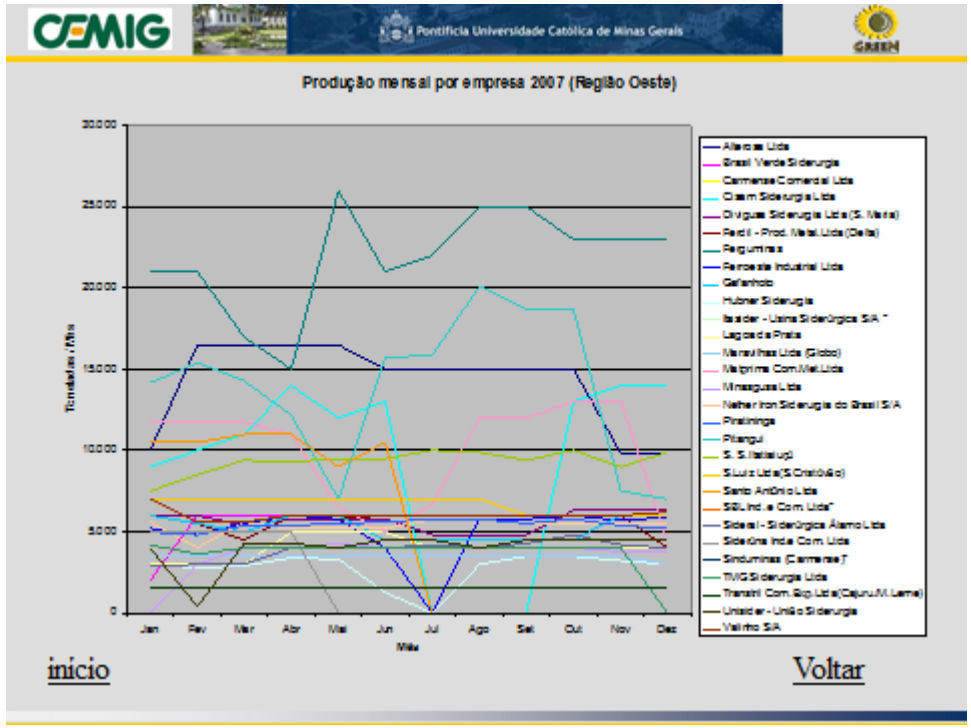
Densidade do carvão vegetal (segundo o Balanço Nacional) 250 Kg/m³ 0,25 toneladas/m³ 0,997 toneladas de C.V.

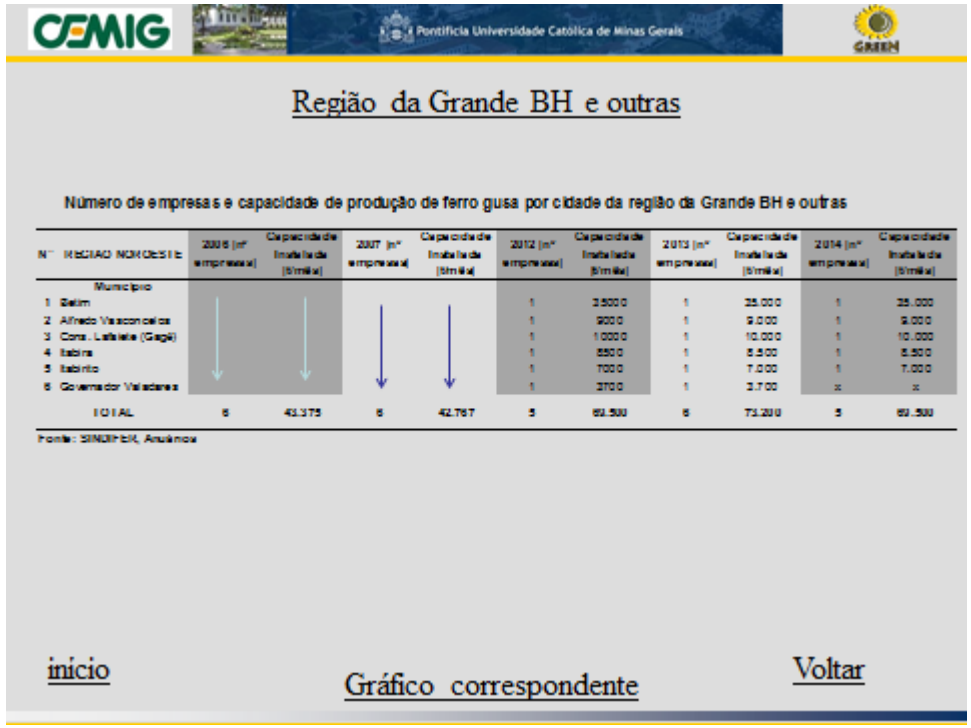
Quantidade de carvão vegetal para produção de 1 tonelada de ferro gusa (BABILOWSKI, 2009)
Fonte: IDT 2014, e próprio autor.

início Gráfico correspondente Voltar

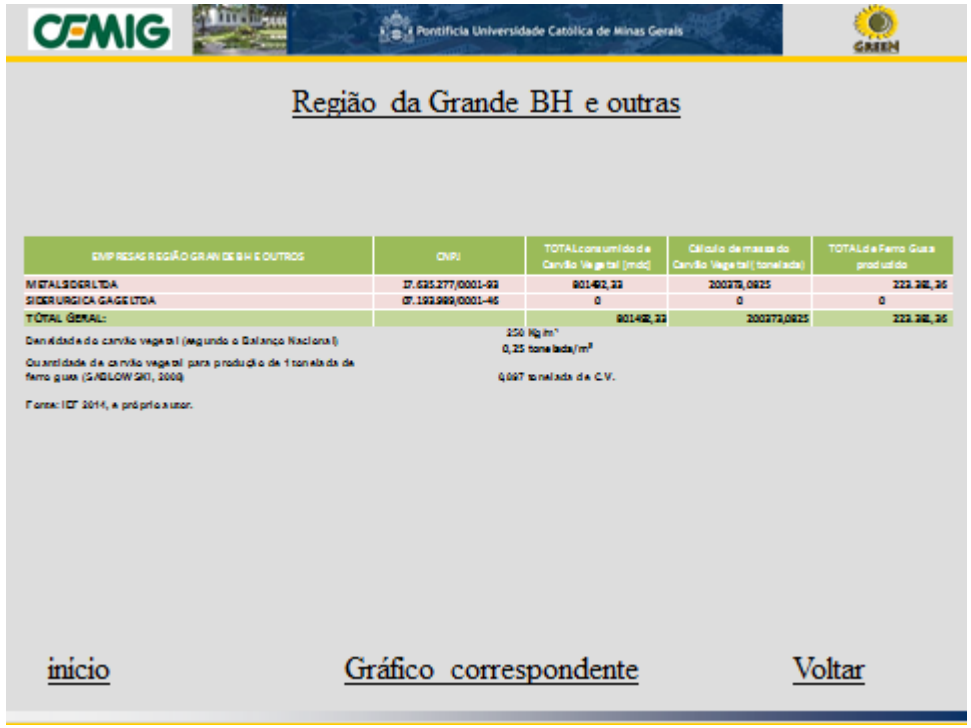


Nº	REGIÃO OESTE	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	total	Média	DP	%
1	Pergaminus	21.000	21.000	17.000	15.000	26.000	21.000	25.000	25.000	25.000	23.000	25.000	25.000	302.000	24.833	3.215	10,3
2	Siderosa Ltda (2)	10.000	16.320	16.800	16.320	16.200	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	9.840	9.840	170.640	14.220	2.987	6,7
3	Pitangui (4)	16.160	15.960	14.900	12.160	7.000	15.700	15.900	20.100	16.650	16.650	7.500	7.000	166.540	13.878	4.584	6,5
4	Margusa Com.Mat.Ltda (5)	11.760	11.760	11.760	11.000	6.200	5.000	6.700	12.000	12.000	12.000	12.000	4.200	118.960	9.913	3.026	6,0
5	S. S. Itatiaiuçu	7.200	6.200	6.400	6.000	6.200	6.200	10.000	9.600	9.600	10.000	6.000	6.200	111.600	9.300	704	5,7
6	Cisan Siderurgia Ltda (6)	8.000	10.000	11.000	14.000	12.000	13.000	0	0	0	13.000	14.000	14.000	110.000	9.167	5.750	5,6
7	S Luiz Ltda(S.Cristóvão)	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	6.000	6.000	6.000	6.000	80.000	6.667	492	4,1
8	Marmo (3) (1)	7.000	5.600	5.600	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.200	72.400	6.033	350	3,7
9	Dilagusa Siderurgia Ltda (S. Maria) (7)	6.000	6.000	5.400	5.600	5.600	5.600	4.600	4.600	4.600	5.000	5.000	5.000	63.100	5.875	598	3,3
10	Brasil Verde Siderurgia (3)	2.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	68.000	5.667	1.155	3,5
11	Ferdi - Prod. Metal.Ltda (Delta)	6.000	5.200	4.200	6.000	5.600	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	4.000	67.000	5.583	679	3,4
12	Pitanginga	2.000	4.600	5.400	5.400	5.600	5.600	5.600	5.600	5.200	5.600	5.400	5.200	65.200	5.433	914	3,3
13	Nether Iron Siderurgia do Brasil S/A	5.600	4.000	5.600	5.200	5.200	5.200	5.600	5.600	5.200	5.200	5.200	5.200	64.400	5.367	677	3,3
14	Gerbrhoro	6.000	5.200	5.000	6.000	6.000	4.200	4.500	4.500	4.200	4.500	6.000	6.000	63.000	5.250	739	3,2
15	Sanro Jurário Ltda	10.500	10.200	11.000	11.000	9.000	10.500	0	0	0	0	0	0	62.500	5.208	5.459	3,2
16	Ferpasa Industrial Ltda	5.200	4.600	5.200	6.000	5.600	4.000	0	5.600	5.600	6.000	2.700	5.600	60.500	5.042	1.669	3,1
17	Lagoa da Prata	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	49.000	4.000	739	2,4
18	Unialder - União Siderurgia	4.000	400	4.200	4.000	4.000	4.200	4.500	4.000	4.200	4.500	4.500	4.200	49.000	4.000	1.154	2,4
19	Sidenal - Siderúrgica Alamo Ltda	2.600	5.000	5.000	4.000	4.000	4.000	4.200	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	48.200	3.983	881	2,4
20	THG Siderurgia Ltda	4.200	5.600	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	0	43.800	3.650	1.157	2,2
21	Mineaguas Ltda	0	5.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.600	3.750	42.850	3.571	1.167	2,2
22	Maralhas Ltda (Globo)	3.500	3.200	3.200	3.600	3.200	3.200	3.500	3.200	3.200	3.200	3.200	3.000	41.500	3.458	164	2,1
23	Hubner Siderurgia	3.000	2.800	2.800	3.400	3.000	1.200	0	3.000	3.200	3.200	3.200	3.000	32.800	2.733	1.061	1,7
24	Siderúrgica Ind e Com. Ltda	2.000	2.000	2.000	2.000	0	0	0	0	0	0	0	0	20.000	1.667	2.583	1,0
25	Carmensa Comercial Ltda	1.200	1.200		1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	12.000	1.200	0	0,6
26	Transfl Com.Exp.Ltda(Caieiru M.Lema	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	10.000	1.200	0	0,6
27	Ibaulder - Usina Siderúrgica S/A *	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
28	SGL Ind. e Com. Ltda*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
29	Sinduminas (Carmensa)*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
TOTAL		163.320	170.140	173.000	179.320	170.720	169.100	141.700	163.200	160.950	170.050	159.440	141.590	1.920.930	160.078	11.271	100,0


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Produção mensal por empresa 2007 (Região Oeste)
30.000
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0
Jan
Fev
Mar
Abr
Mai
Jun
Jul
Ago
Set
Out
Nov
Dez
Mês
Alterosa Ltda
Brasil Verde Siderurgia
Carmense Comercial Ltda
Cisam Siderurgia Ltda
Divigusa Siderurgia Ltda (S. Maria)
Fercil - Prod. Metal. Ltda (Delta)
Fergumines
Ferroeste Industrial Ltda
Gafanhoto
Hubner Siderurgia
Itasider - Usina Siderúrgica S/A
Lagoa da Prata
Maravilhas Ltda (Globo)
Matprima Com.Met.Ltda
Minasgusa Ltda
Nether Iron Siderurgia do Brasil S/A
Piratininga
Pitangui
S. S.Itatiaiuçú
S.Luiz Ltda(S.Cristóvão)
Santo Antônio Ltda
SBL Ind.e Com. Ltda
Sideral - Siderúrgica Álamo Ltda
Siderúna Ind.e Com. Ltda
Sinduminas (Carmense)
TMG Siderurgia Ltda
Transitri Com.Exp.Ltda(Cajuru.M.Leme)
Unisider - União Siderurgia
Valinho S/A
início
Voltar



Nº	REGIÃO NOROESTE	2006 (nº empresas)	Capacidade instalada (t/mês)	2007 (nº empresas)	Capacidade instalada (t/mês)	2012 (nº empresas)	Capacidade instalada (t/mês)	2013 (nº empresas)	Capacidade instalada (t/mês)	2014 (nº empresas)	Capacidade instalada (t/mês)
	Município										
1	Belm					1	25000	1	25.000	1	25.000
2	Alfredo Vasconcelos					1	9000	1	9.000	1	9.000
3	Cons. Lafaiete (Gagé)					1	10000	1	10.000	1	10.000
4	Itabira					1	5500	1	5.500	1	5.500
5	Itabirito					1	7000	1	7.000	1	7.000
6	Governador Valadares					1	3700	1	3.700	x	x
	TOTAL	6	43.375	6	42.767	5	60.500	6	73.200	5	60.500



CEMIG Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais GREEN

Região da Grande BH e outras

EMPRESAS REGIÃO GRANDE BH E OUTROS	CNPJ	TOTAL consumido de Carvão Vegetal (mdc)	Cálculo de massa do Carvão Vegetal (tonelada)	TOTAL de Ferro Gusa produzido
METALSIDER LTDA	17.635.277/0001-93	801492,33	200373,0825	223.382,36
SIDERURGICA GAGE LTDA	07.193.989/0001-46	0	0	0
TOTAL GERAL:		801492,33	200373,0825	223.382,36

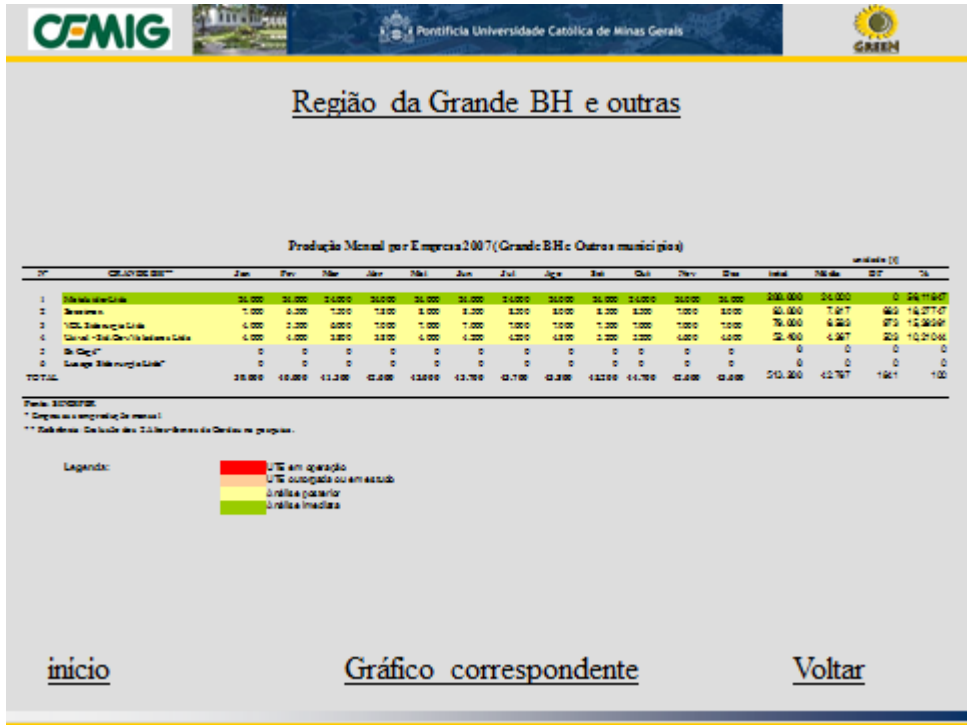
Densidade do carvão vegetal (segundo o Balanço Nacional) 250 Kg/m³

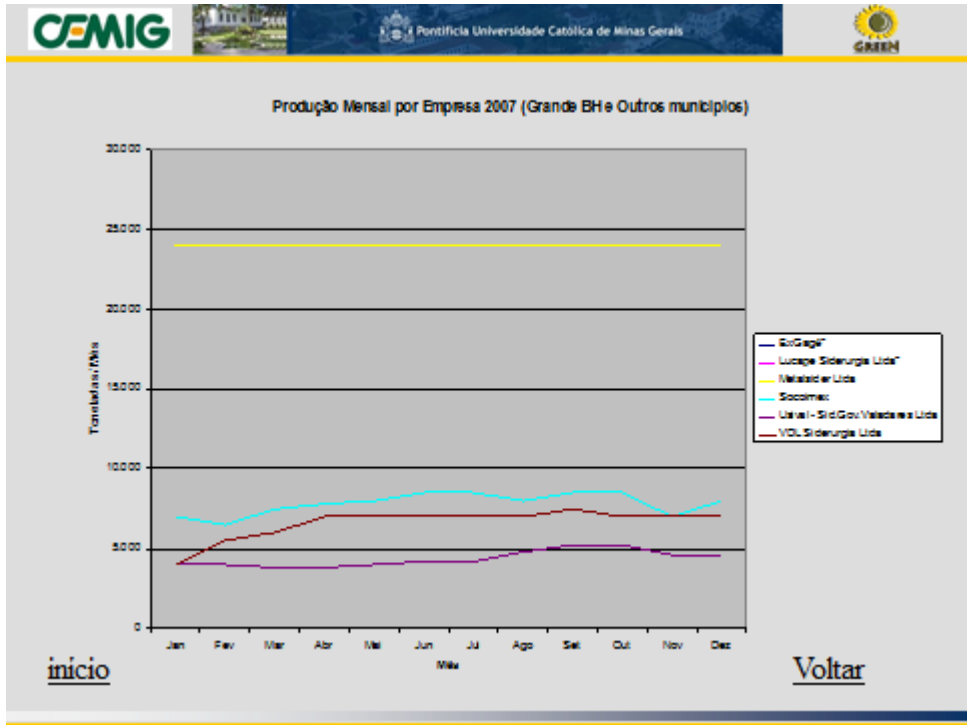
0,25 tonelada/m³

Quantidade de carvão vegetal para produção de 1 tonelada de ferro gusa (GABLOWSKI, 2008) 0,097 tonelada de C.V.

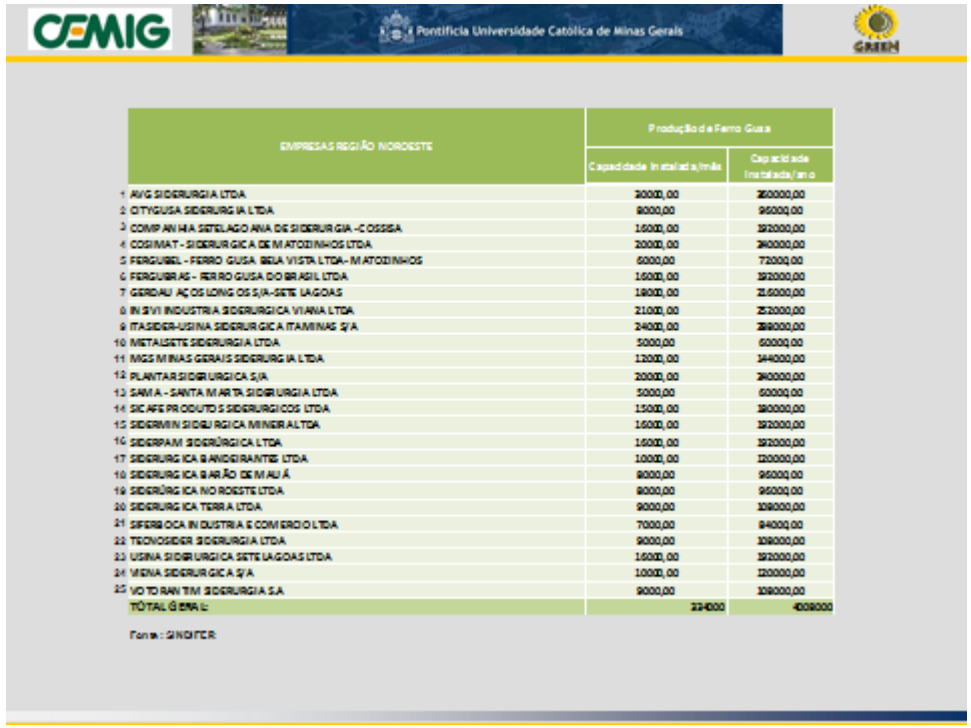
Fonte: ICF 2014, e próprio autor.

início Gráfico correspondente Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Região da Grande BH e outras
Produção Mensal por Empresa 2007 (Grande BH e Outros municípios)
Legenda:
UTE em operação
UTE contratada ou em estudo
Áreas favoráveis
Áreas muito favoráveis
início
Gráfico correspondente
Voltar

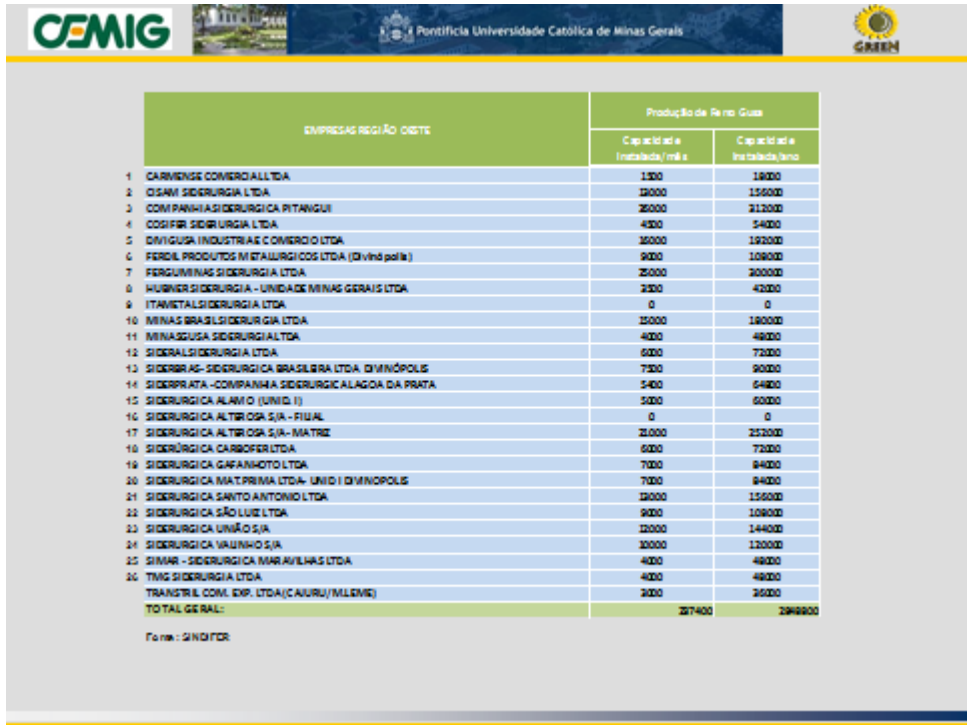

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Produção Mensal por Empresa 2007 (Grande BH e Outros municípios)
30.000
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0
Toneladas/Mês
Jan
Fev
Mar
Abr
Mai
Jun
Jul
Ago
Set
Out
Nov
Dez
Mês
ExGagé*
Lucape Siderurgia Ltda*
Metalsider Ltda
Socoimex
Usival - Sid.Gov.Valadares Ltda
VOL Siderurgia Ltda
inicio
Voltar

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Ferro-Gusa
Capacidade Instalada
Minas Gerais 2015
Região Noroeste
Região Oeste
Grande BH/Outros
início
Voltar



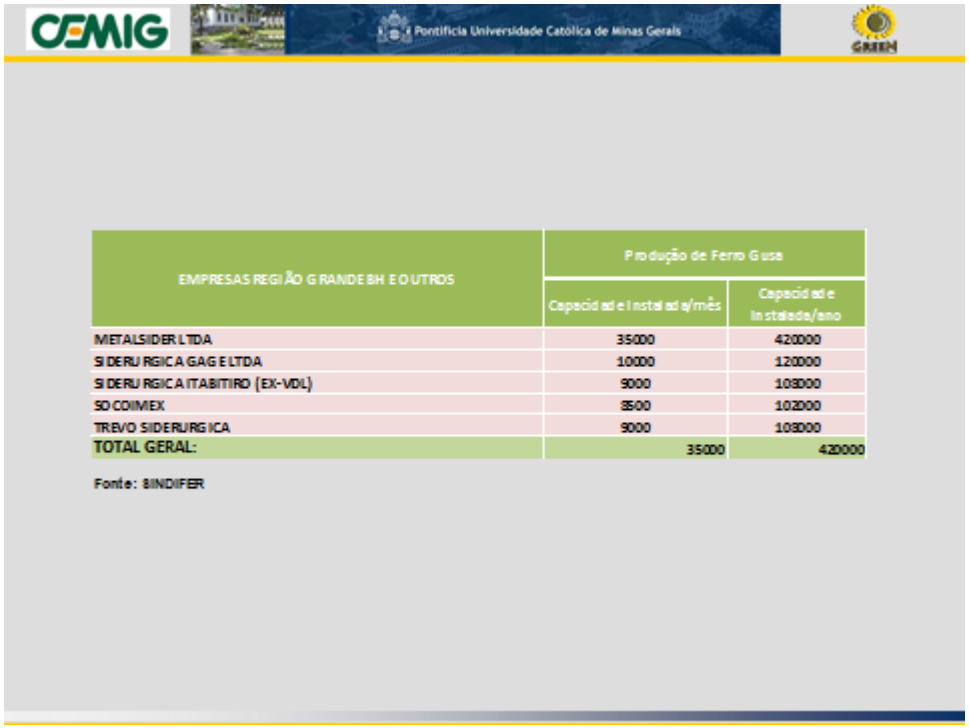
	EMPRESAS REGIÃO NOROESTE	Produção de Ferro Gusa	
		Capacidade Instalada/mês	Capacidade Instalada/ano
1	AVG SIDERURGIA LTDA	30000,00	360000,00
2	CITYGUSA SIDERURGIA LTDA	8000,00	96000,00
3	COMPANHIA SETELAGOANA DE SIDERURGIA -COSSISA	16000,00	192000,00
4	COSIMAT - SIDERURGICA DE MATOZINHOS LTDA	20000,00	240000,00
5	FERGUBEL - FERRO GUSA BELA VISTA LTDA- MATOZINHOS	6000,00	72000,00
6	FERGUBRAS - FERRO GUSA DO BRASIL LTDA	16000,00	192000,00
7	GERDAU AÇOS LONG OS S/A-SETE LAGOAS	18000,00	216000,00
8	INSVI INDUSTRIA SIDERURGICA VIANA LTDA	21000,00	252000,00
9	ITASIDER-USINA SIDERURGICA ITAMINAS S/A	24000,00	288000,00
10	METALSETE SIDERURGIA LTDA	5000,00	60000,00
11	MGS MINAS GERAIS SIDERURGIA LTDA	12000,00	144000,00
12	PLANTAR SIDERURGICA S/A	20000,00	240000,00
13	SAMA - SANTA MARTA SIDERURGIA LTDA	5000,00	60000,00
14	SICAFE PRODUTOS SIDERURGICOS LTDA	15000,00	180000,00
15	SIDERMIN SIDERURGICA MINEIRA LTDA	16000,00	192000,00
16	SIDERPAM SIDERÚRGICA LTDA	16000,00	192000,00
17	SIDERURGICA BANDEIRANTES LTDA	10000,00	120000,00
18	SIDERURGICA BARÃO DE MAUÁ	8000,00	96000,00
19	SIDERÚRGICA NOROESTE LTDA	8000,00	96000,00
20	SIDERURGICA TERRA LTDA	9000,00	108000,00
21	SIFERGICA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	7000,00	84000,00
22	TECNOSIDER SIDERURGIA LTDA	9000,00	108000,00
23	USINA SIDERURGICA SETE LAGOAS LTDA	16000,00	192000,00
24	VIENA SIDERURGICA S/A	10000,00	120000,00
25	VOTORANTIM SIDERURGIA S.A	9000,00	108000,00
	TOTAL GERAL:	334000	4008000

Fonte: SINDIFER



	EMPRESAS REGIÃO OESTE	Produção de Ferro Gusa	
		Capacidade Instalada/mês	Capacidade Instalada/ano
1	CARMENSE COMERCIAL LTDA	1500	18000
2	OSAM SIDERURGIA LTDA	12000	156000
3	COMPANHIA SIDERURGICA PITANGUI	26000	312000
4	COSIFER SIDERURGIA LTDA	4500	54000
5	DIVIGUSA INDUSTRIAS E COMERCIO LTDA	16000	192000
6	FERDIL PRODUTOS METALURGICOS LTDA (Divinópolis)	9000	108000
7	FERGUMINAS SIDERURGIA LTDA	25000	300000
8	HUBNER SIDERURGIA - UNIDADE MINAS GERAIS LTDA	3500	42000
9	ITAMETAL SIDERURGIA LTDA	0	0
10	MINAS BRASIL SIDERURGIA LTDA	15000	180000
11	MINASGUSA SIDERURGIA LTDA	4000	48000
12	SIDERAL SIDERURGIA LTDA	6000	72000
13	SIDERBRAS- SIDERURGICA BRASILEIRA LTDA. DIVINÓPOLIS	7500	90000
14	SIDERPRATA -COMPANHIA SIDERURGICA LAGOA DA PRATA	5400	64800
15	SIDERURGICA ALAMO (UNID. I)	5000	60000
16	SIDERURGICA ALTEROSA S/A - FILIAL	0	0
17	SIDERURGICA ALTEROSA S/A - MATRIZ	21000	252000
18	SIDERÚRGICA CARBOFER LTDA	6000	72000
19	SIDERURGICA GAFANHOTO LTDA	7000	84000
20	SIDERURGICA MATPRIMA LTDA- UNID I DIVINOPOLIS	7000	84000
21	SIDERURGICA SANTO ANTONIO LTDA	13000	156000
22	SIDERURGICA SÃO LUIZ LTDA	9000	108000
23	SIDERURGICA UNIÃO S/A	12000	144000
24	SIDERURGICA VALINHOS/A	10000	120000
25	SIMAR - SIDERURGICA MARAVILHAS LTDA	4000	48000
26	TMG SIDERURGIA LTDA	4000	48000
	TRANSTREL COM. EXP. LTDA(CAJURU/MLEME)	2000	26000
	TOTAL GERAL:	237400	2949800

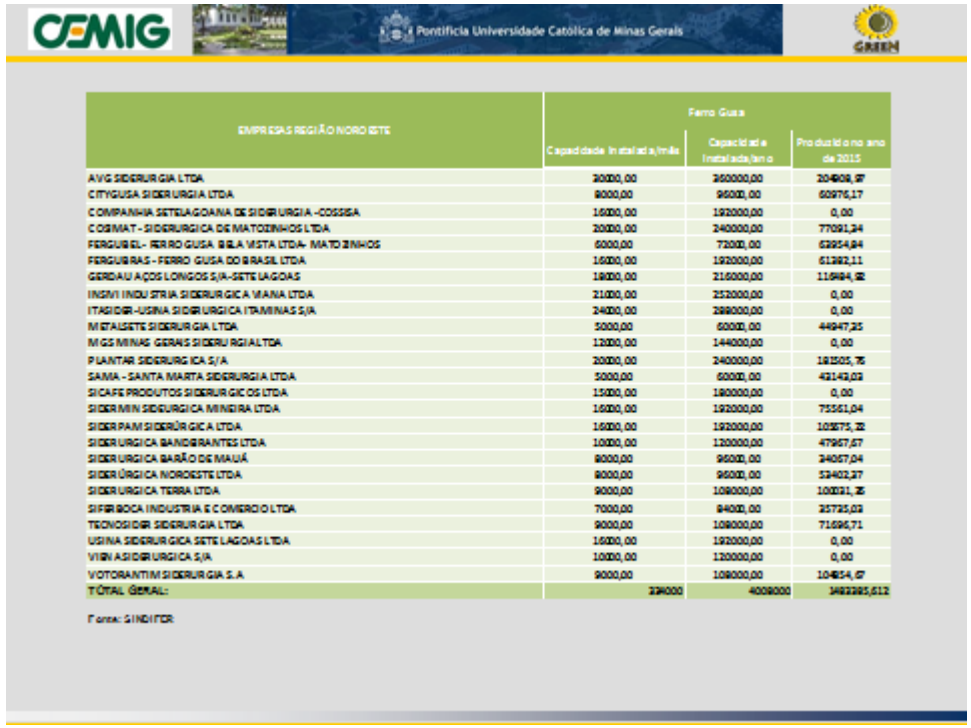
Fonte: SINDIFER



EMPRESAS REGIÃO GRANDE BH E OUTROS	Produção de Ferro Gusa	
	Capacidade Instalada/mês	Capacidade Instalada/ano
METALSIDER LTDA	35000	420000
SIDERURGICA GAGE LTDA	10000	120000
SIDERURGICA ITABIRITO (EX-VDL)	9000	108000
SOCOIMEX	8500	102000
TREVO SIDERURGICA	9000	108000
TOTAL GERAL:	35000	420000

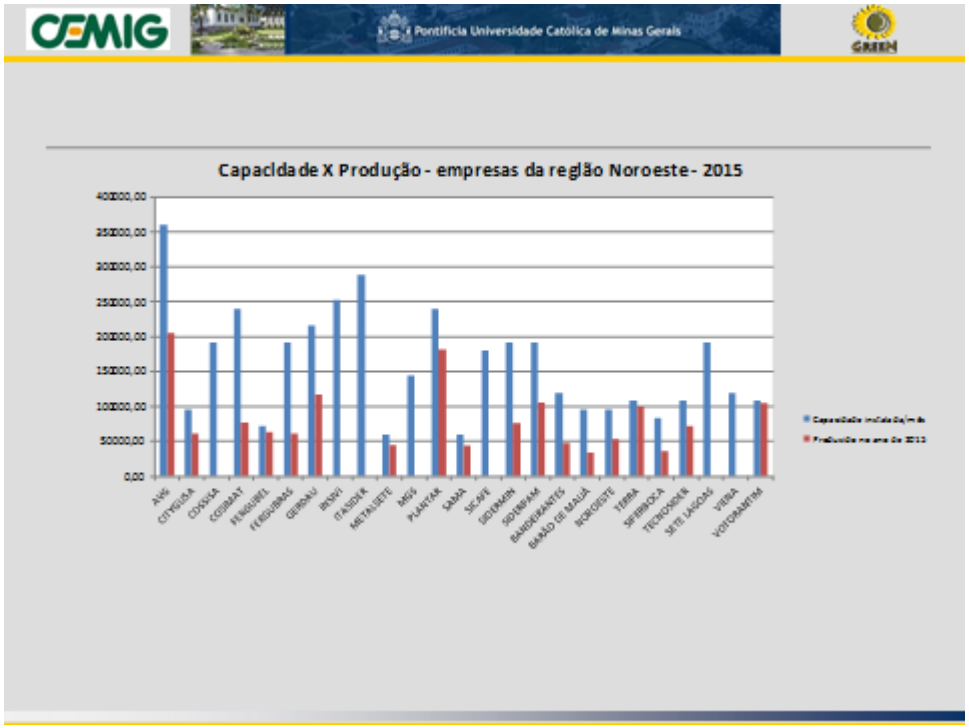
Fonte: SINDIFER

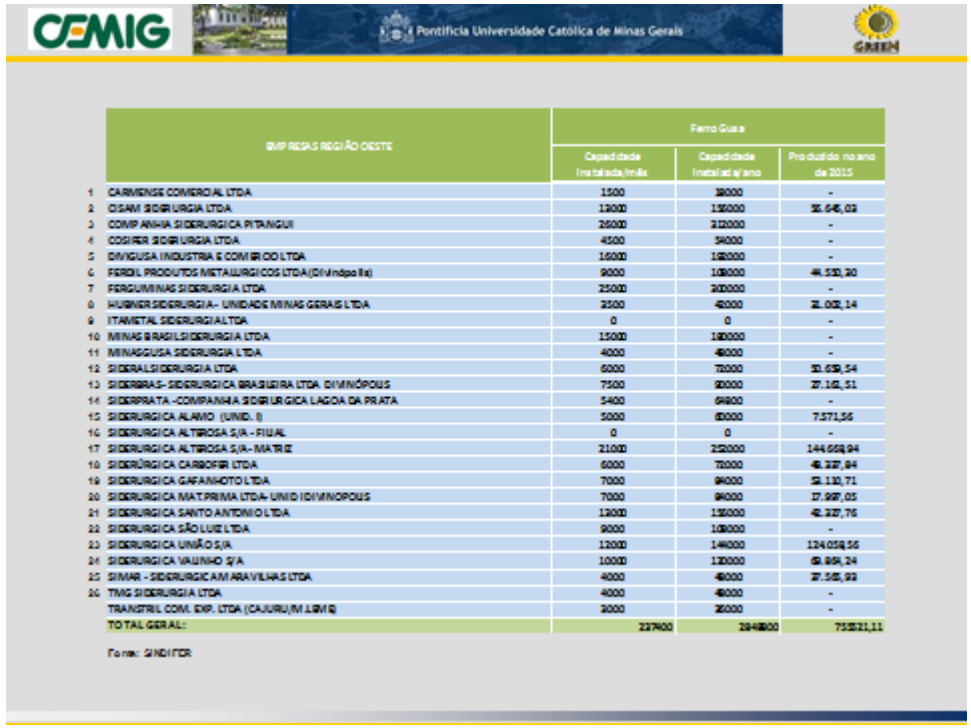
CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Ferro-Gusa
Produção x Capacidade
Minas Gerais 2015
Região Noroeste
Região Oeste
Grande BH/Outros
início
Voltar



EMPRESAS REGIÃO NOROESTE	Ferro Gusa		
	Capacidade Instalada/mês	Capacidade Instalada/ano	Produção no ano de 2015
AVG SIDERURGIA LTDA	20000,00	260000,00	204908,97
CITYGUSA SIDERURGIA LTDA	8000,00	96000,00	60976,17
COMPANHIA SETELAGOANA DE SIDERURGIA -COSSISA	16000,00	192000,00	0,00
COSIMAT - SIDERURGICA DE MATOZINHOS LTDA	20000,00	240000,00	77091,24
FERGUBEL- FERRO GUSA BELA VISTA LTDA- MATOZINHOS	6000,00	72000,00	62954,84
FERGUBRAS - FERRO GUSA DO BRASIL LTDA	16000,00	192000,00	61382,11
GERDAU AÇOS LONGOS S/A-SETE LAGOAS	18000,00	216000,00	116984,92
INSIVI INDUSTRIA SIDERURGICA VIANA LTDA	21000,00	252000,00	0,00
ITAGIDER-USINA SIDERURGICA ITAMINAS S/A	24000,00	288000,00	0,00
METALSETE SIDERURGIA LTDA	5000,00	60000,00	44947,25
MGS MINAS GERAIS SIDERURGIA LTDA	12000,00	144000,00	0,00
PLANTAR SIDERURGICA S/A	20000,00	240000,00	181505,76
SAMA - SANTA MARTA SIDERURGIA LTDA	5000,00	60000,00	42142,03
SICAFE PRODUTOS SIDERURGICOS LTDA	15000,00	180000,00	0,00
SIDERMIN SIDERURGICA MINEIRA LTDA	16000,00	192000,00	75561,04
SIDERPAM SIDERÚRGICA LTDA	16000,00	192000,00	103575,22
SIDERURGICA BANDEIRANTES LTDA	10000,00	120000,00	47967,67
SIDERURGICA BARÃO DE MAUÁ	8000,00	96000,00	24067,04
SIDERÚRGICA NOROESTE LTDA	8000,00	96000,00	53402,27
SIDERURGICA TERRA LTDA	9000,00	108000,00	100121,25
SIFERBOCA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	7000,00	84000,00	25725,03
TECNOSIDER SIDERURGIA LTDA	9000,00	108000,00	71696,71
USINA SIDERURGICA SETE LAGOAS LTDA	16000,00	192000,00	0,00
VISNASIDERURGICA S/A	10000,00	120000,00	0,00
VOTORANTIM SIDERURGIA S.A	9000,00	108000,00	104854,67
TOTAL GERAL:	334000	4008000	1482385,612

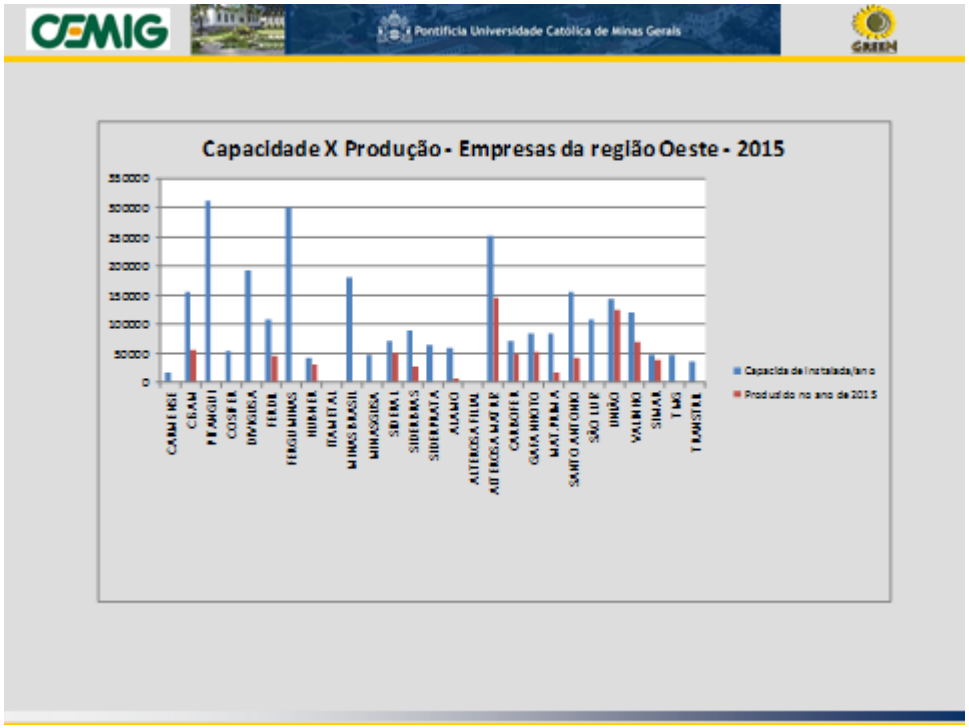
Fonte: SINDIFER

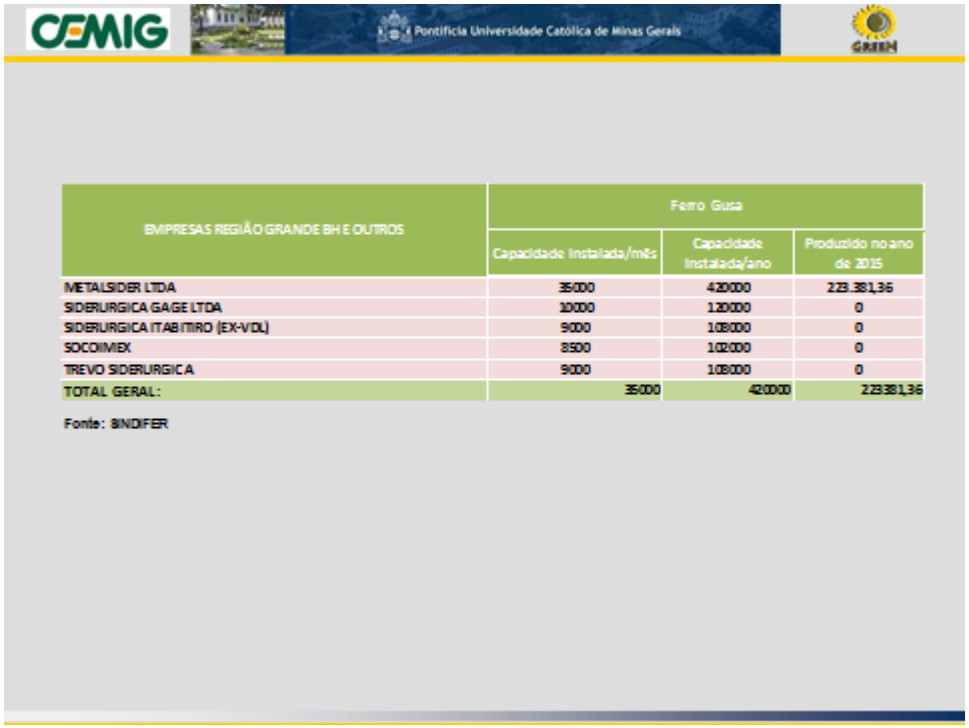

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Capacidade X Produção - empresas da região Noroeste - 2015
400000,00
350000,00
300000,00
250000,00
200000,00
150000,00
100000,00
50000,00
0,00
AVG
CITYGUSA
COSSISA
COGIMAT
FERGUBEL
FERGUBRAS
GERDAU
IBSIVI
ITASIDER
METALIJETE
MGS
PLANTAR
SAMA
SICAFE
SIDERMIN
SIDERPAM
BANDEIRANTES
BARÃO DE MAUÁ
NOROESTE
TERRA
SIFERBOCA
TECNOSIDER
SETE LAGOAS
VIEIRA
VOTORANTIM



	EMPRESAS REGIÃO OESTE	Ferro Gusa		
		Capacidade Instalada/mês	Capacidade Instalada/ano	Produzido no ano de 2015
1	CARMENSE COMERCIAL LTDA	1500	18000	-
2	CISAM SIDERURGIA LTDA	12000	135000	35.645,03
3	COMPANHIA SIDERURGICA PITANGUI	26000	312000	-
4	COSIFER SIDERURGIA LTDA	4500	54000	-
5	DIVIGUSA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	16000	192000	-
6	FEROIL PRODUTOS METALURGICOS LTDA (Divinópolis)	9000	108000	46.530,20
7	FERGUMINAS SIDERURGIA LTDA	25000	300000	-
8	HUGINER SIDERURGIA - UNIDADE MINAS GERAIS LTDA	2500	42000	21.002,14
9	ITAMETAL SIDERURGIA LTDA	0	0	-
10	MINAS BRASIL SIDERURGIA LTDA	15000	180000	-
11	MINASGUSA SIDERURGIA LTDA	4000	48000	-
12	SIDERALSIDERURGIA LTDA	6000	72000	30.659,54
13	SIDERBRAS - SIDERURGICA BRASILEIRA LTDA. DIVINÓPOLIS	7500	90000	27.162,51
14	SIDERPRATA - COMPANHIA SIDERURGICA LAGOA DA PRATA	5400	64800	-
15	SIDERURGICA ALAMO (UNID. I)	5000	60000	7.571,56
16	SIDERURGICA ALTEROSA S/A - FILIAL	0	0	-
17	SIDERURGICA ALTEROSA S/A - MATRIZ	21000	252000	144.669,94
18	SIDERÚRGICA CARBOFER LTDA	6000	72000	48.337,84
19	SIDERURGICA GAFANHOTO LTDA	7000	84000	52.110,71
20	SIDERURGICA MATPRIMA LTDA- UNID II DIVINOPOLIS	7000	84000	17.997,05
21	SIDERURGICA SANTO ANTONIO LTDA	12000	135000	42.327,76
22	SIDERURGICA SÃO LUIZ LTDA	9000	108000	-
23	SIDERURGICA UNIÃO S/A	12000	144000	124.059,56
24	SIDERURGICA VALINHO S/A	10000	120000	69.959,24
25	SIMAR - SIDERURGICA MARAVILHAS LTDA	4000	48000	27.565,93
26	TMG SIDERURGIA LTDA	4000	48000	-
	TRANSTEL COM. EXP. LTDA (CAJURU/MG)	2000	26000	-
	TOTAL GERAL:	227400	2948800	755321,11

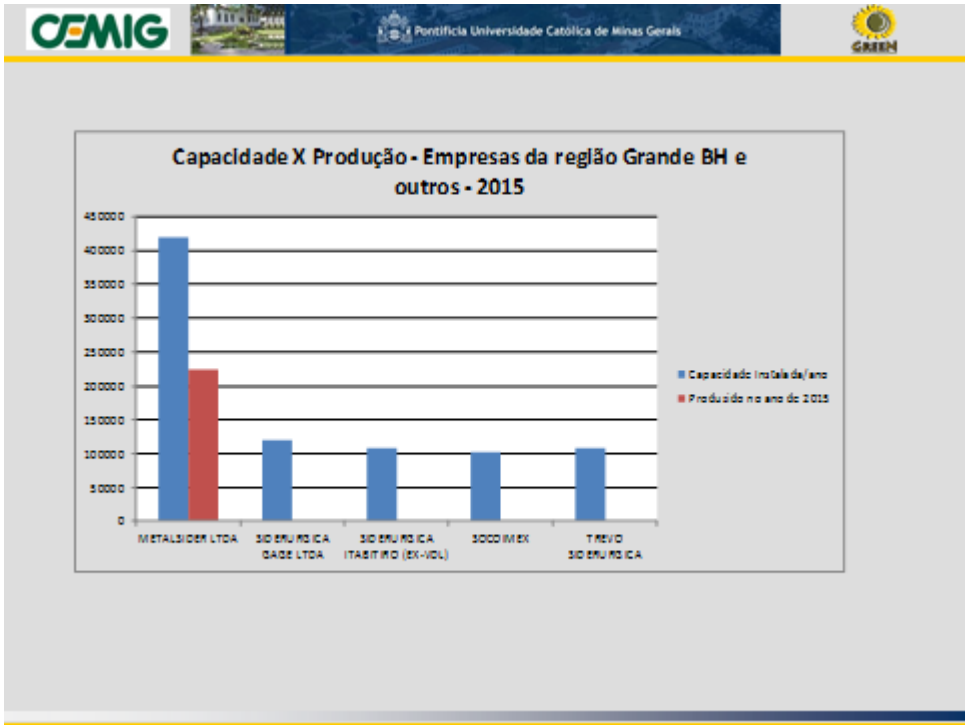
Fonte: SINDIFER

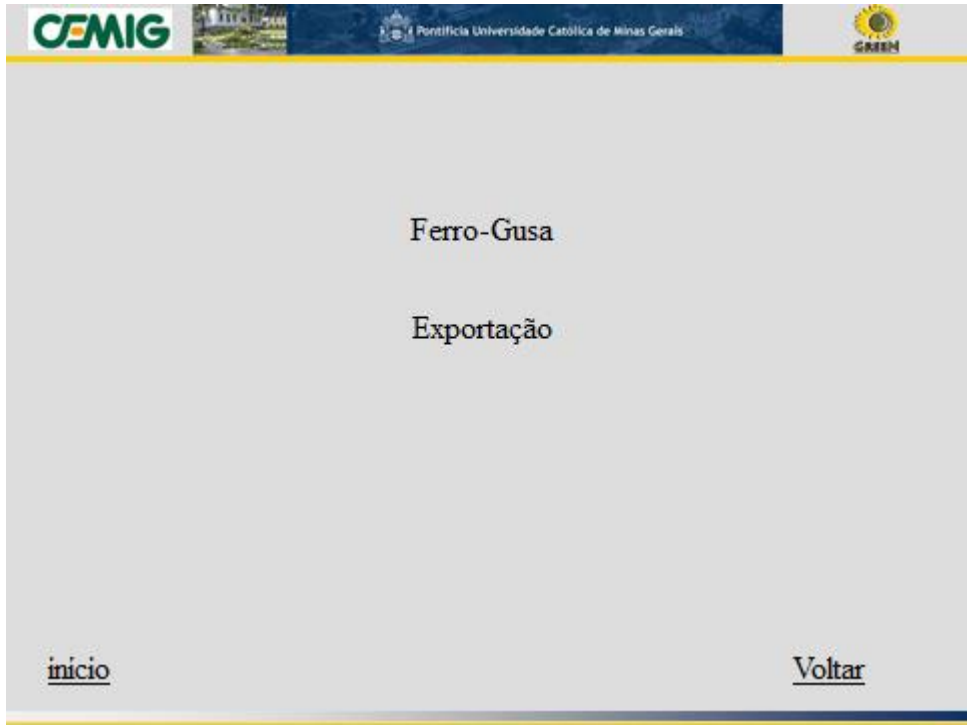

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Capacidade X Produção - Empresas da região Oeste - 2015
350000
300000
250000
200000
150000
100000
50000
0
Capacidade Instalada/ano
Produzido no ano de 2015

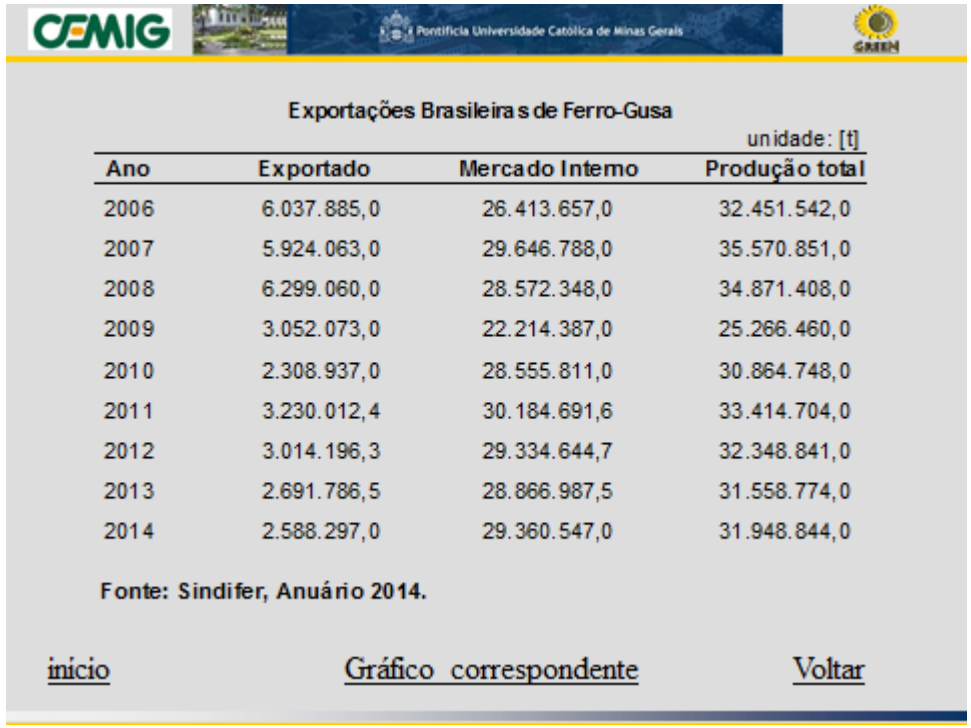


EMPRESAS REGIÃO GRANDE BH E OUTROS	Ferro Gusa		
	Capacidade Instalada/mês	Capacidade Instalada/ano	Produzido no ano de 2015
METALSIDER LTDA	35000	420000	223.381,36
SIDERURGICA GAGE LTDA	10000	120000	0
SIDERURGICA ITABIRITO (EX-VDL)	9000	108000	0
SOCOIMEX	8500	102000	0
TREVO SIDERURGICA	9000	108000	0
TOTAL GERAL:	35000	420000	223381,36

Fonte: SINDIFER


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Capacidade X Produção - Empresas da região Grande BH e outros - 2015
45 0000
40 0000
35 0000
30 0000
25 0000
20 0000
15 0000
10 0000
5 0000
0
METALSIDER LTDA
SIDERÚRGICA GAGE LTDA
SIDERÚRGICA ITABIRITO (EX-VDL)
SOCOIMEX
TREVO SIDERÚRGICA
Capacidade Instalada/ano
Produzido no ano de 2015


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Ferro-Gusa
Exportação
início
Voltar



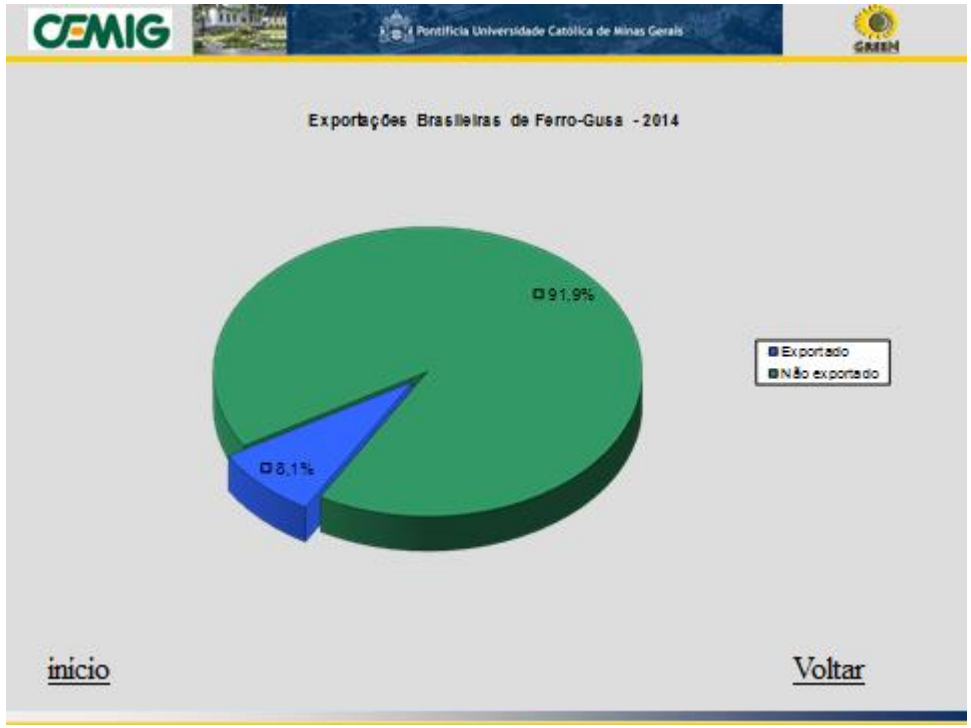
Exportações Brasileiras de Ferro-Gusa

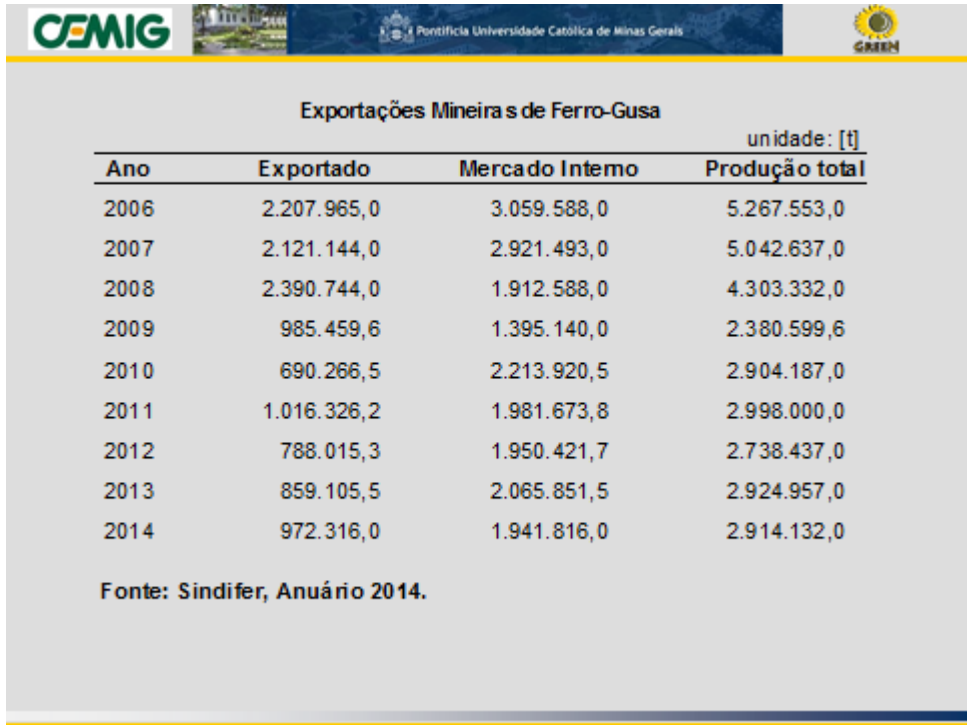
unidade: [t]

Ano	Exportado	Mercado Interno	Produção total
2006	6.037.885,0	26.413.657,0	32.451.542,0
2007	5.924.063,0	29.646.788,0	35.570.851,0
2008	6.299.060,0	28.572.348,0	34.871.408,0
2009	3.052.073,0	22.214.387,0	25.266.460,0
2010	2.308.937,0	28.555.811,0	30.864.748,0
2011	3.230.012,4	30.184.691,6	33.414.704,0
2012	3.014.196,3	29.334.644,7	32.348.841,0
2013	2.691.786,5	28.866.987,5	31.558.774,0
2014	2.588.297,0	29.360.547,0	31.948.844,0

Fonte: Sindifer, Anuário 2014.

início Gráfico correspondente Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Exportações Brasileiras de Ferro-Gusa - 2014
91,9%
8,1%
Exportado
Não exportado
início
Voltar

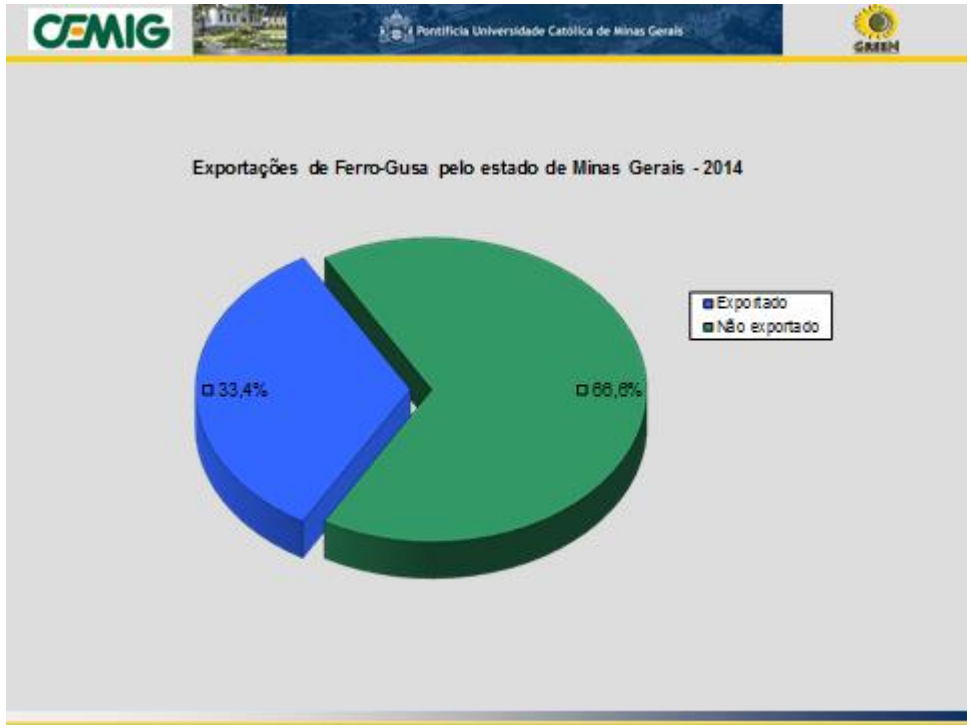


Exportações Mineiras de Ferro-Gusa

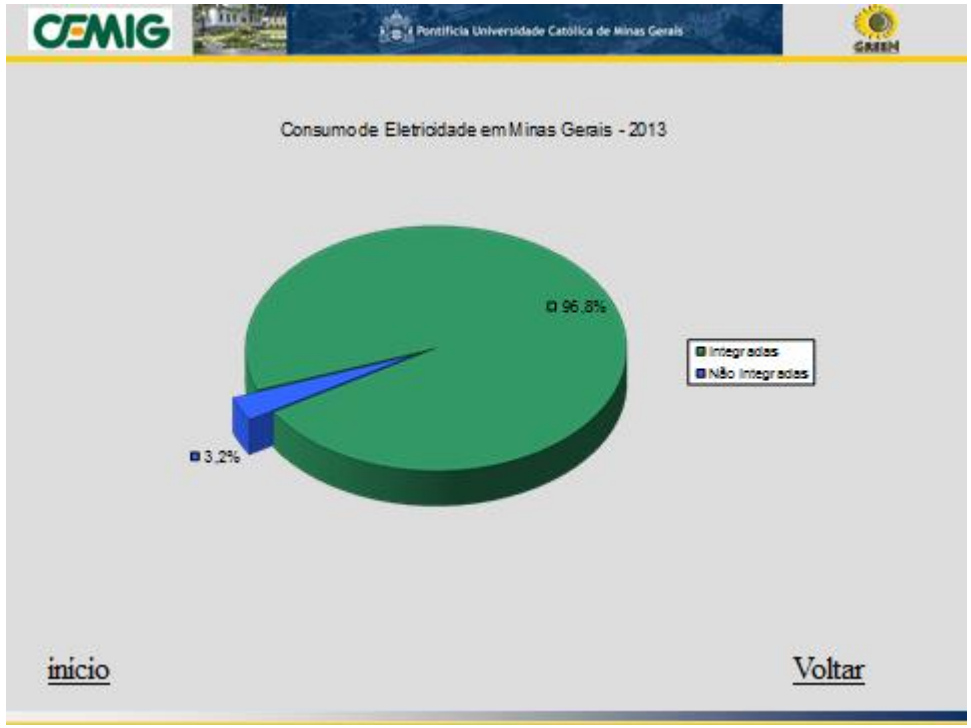
unidade: [t]

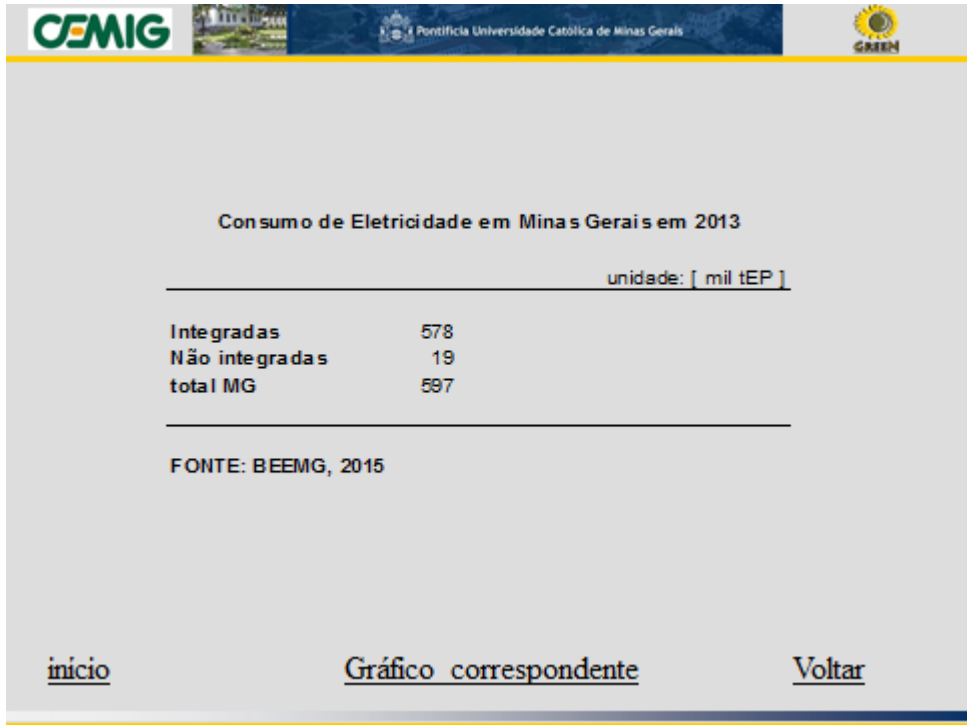
Ano	Exportado	Mercado Interno	Produção total
2006	2.207.965,0	3.059.588,0	5.267.553,0
2007	2.121.144,0	2.921.493,0	5.042.637,0
2008	2.390.744,0	1.912.588,0	4.303.332,0
2009	985.459,6	1.395.140,0	2.380.599,6
2010	690.266,5	2.213.920,5	2.904.187,0
2011	1.016.326,2	1.981.673,8	2.998.000,0
2012	788.015,3	1.950.421,7	2.738.437,0
2013	859.105,5	2.065.851,5	2.924.957,0
2014	972.316,0	1.941.816,0	2.914.132,0

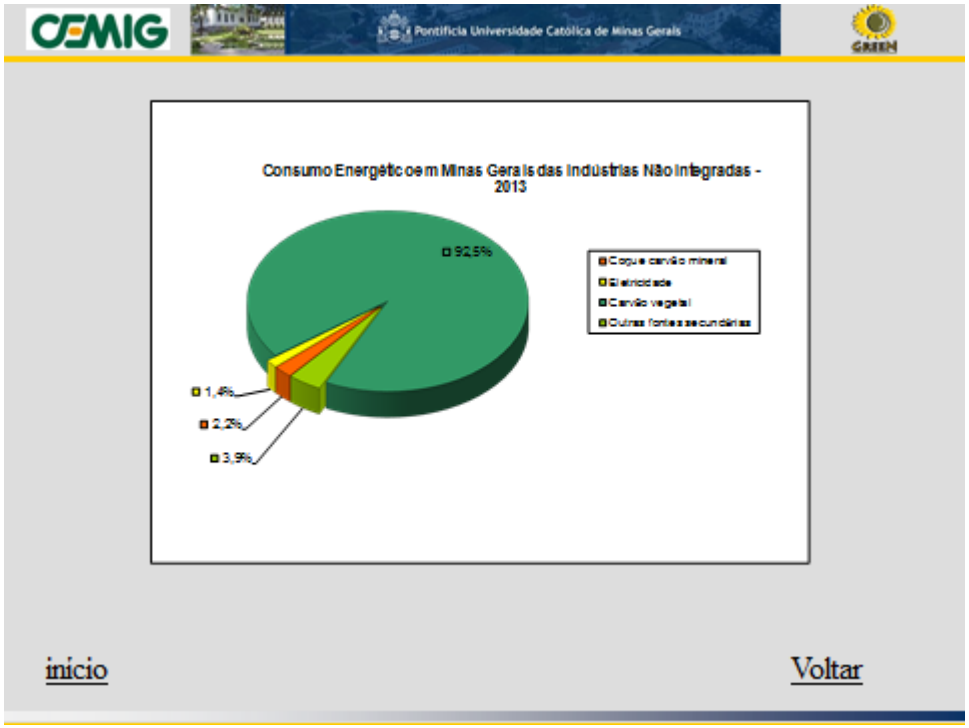
Fonte: Sindifer, Anuário 2014.

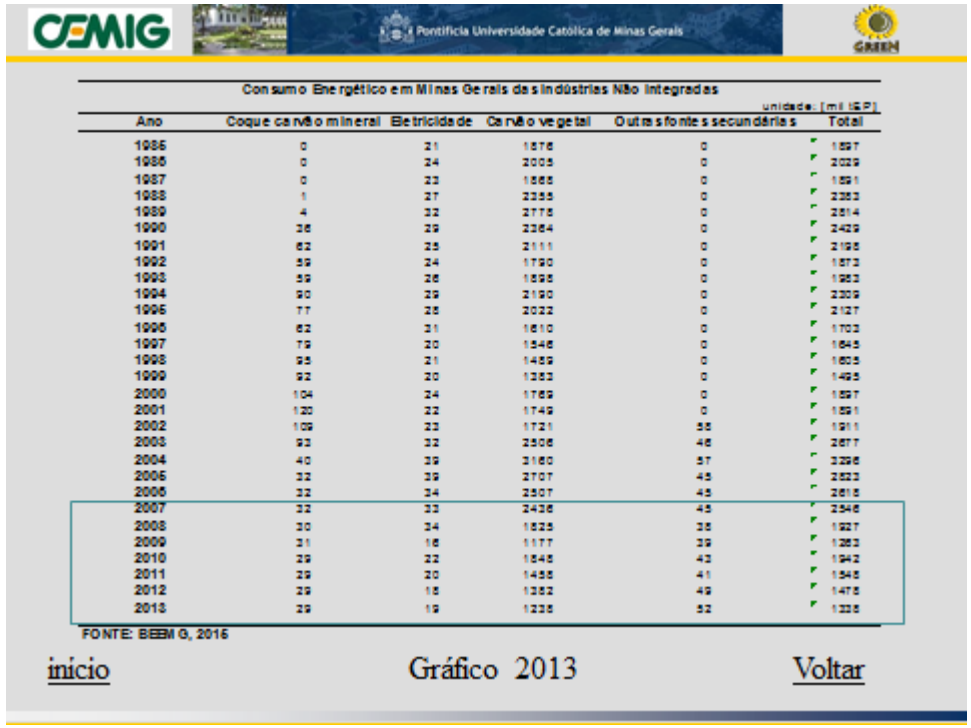

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Exportações de Ferro-Gusa pelo estado de Minas Gerais - 2014
Exportado
Não exportado
33,4%
66,6%

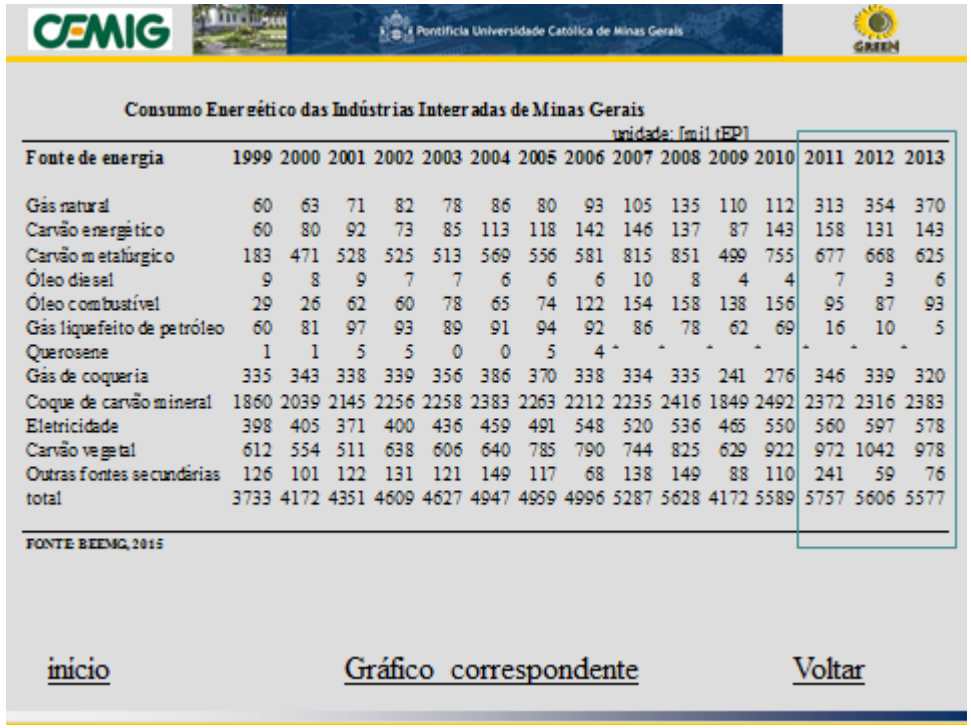
CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Consumo Energético
Eletricidade
Não - integradas
Integradas
início
Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Consumo de Eletricidade em Minas Gerais - 2013
96,8%
3,2%
Integradas
Não Integradas
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Consumo de Eletricidade em Minas Gerais em 2013
unidade: [mil tEP]
Integradas 578
Não integradas 19
total MG 597
FONTE: BEEMG, 2015
início
Gráfico correspondente
Voltar


Consumo Energético em Minas Gerais das Indústrias Não Integradas - 2013
92,5%
1,4%
2,2%
3,9%
Coque carvão mineral
Eletricidade
Carvão vegetal
Outras fontes secundárias
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Consumo Energético em Minas Gerais das Indústrias Não Integradas
unidade: [mil tEP]
Ano | Coque carvão mineral | Eletricidade | Carvão vegetal | Outras fontes secundárias | Total
1986 0 21 1876 0 1897
1985 0 24 2005 0 2029
1987 0 23 1568 0 1591
1988 1 27 2355 0 2383
1989 4 32 2778 0 2814
1990 36 29 2364 0 2429
1991 62 25 2111 0 2198
1992 59 24 1790 0 1873
1993 59 26 1898 0 1983
1994 90 29 2190 0 2309
1995 77 28 2022 0 2127
1996 62 31 1610 0 1703
1997 79 20 1546 0 1645
1998 95 21 1469 0 1585
1999 92 20 1383 0 1495
2000 104 24 1769 0 1897
2001 120 22 1749 0 1891
2002 109 23 1731 58 1911
2003 93 32 2506 46 2677
2004 40 39 2160 57 2296
2005 32 39 2707 45 2823
2006 32 34 2507 45 2618
2007 32 33 2436 45 2546
2008 30 24 1525 36 1927
2009 31 16 1177 39 1263
2010 29 22 1848 43 1942
2011 29 20 1456 41 1545
2012 29 16 1352 49 1475
2013 29 19 1236 52 1336
FONTE: BEEMG, 2016
início
Gráfico 2013
Voltar



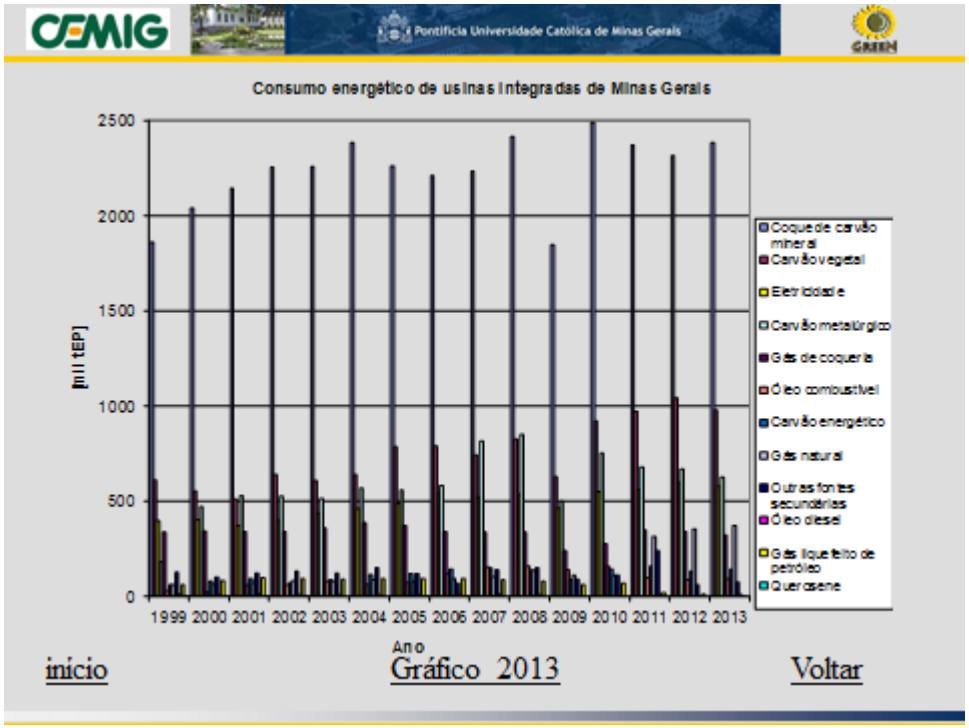
Consumo Energético das Indústrias Interadas de Minas Gerais

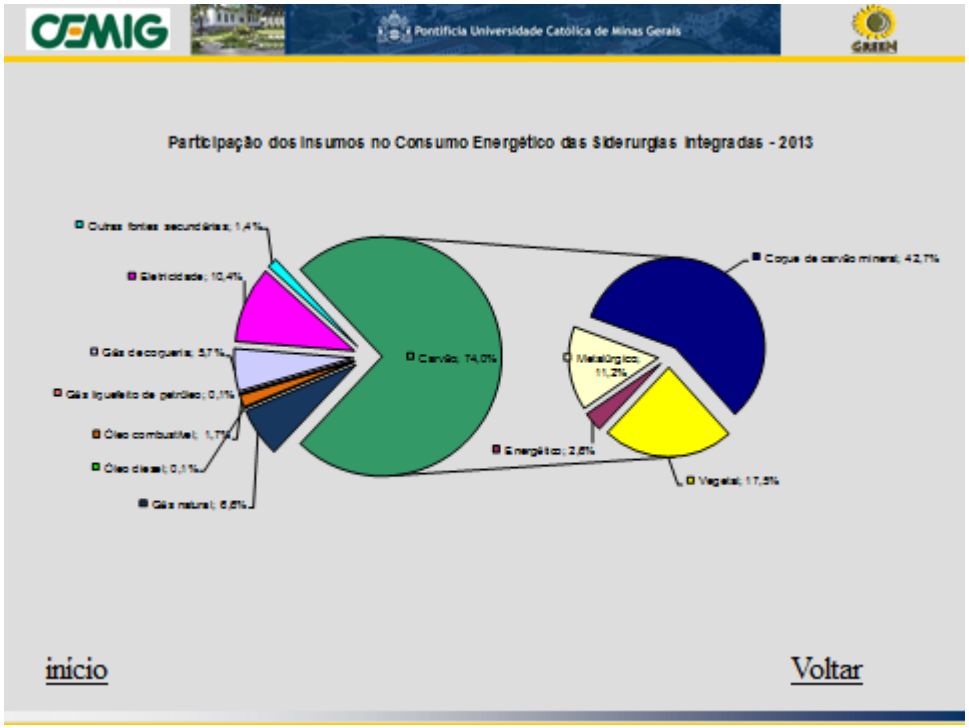
unidade: [mil tEP]

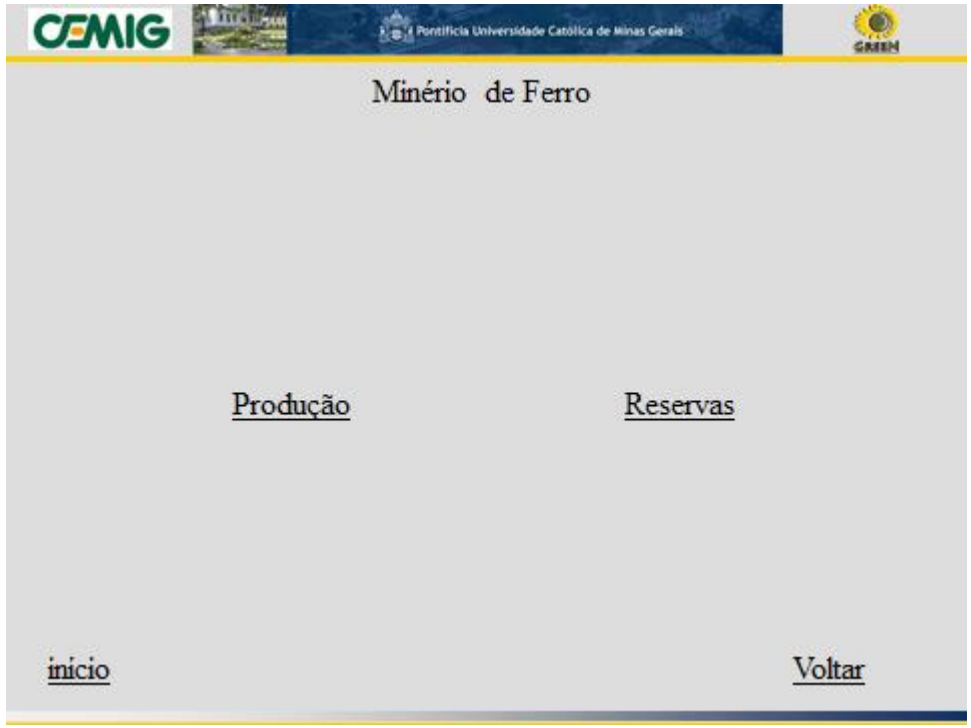
Fonte de energia	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Gás natural	60	63	71	82	78	86	80	93	105	135	110	112	313	354	370
Carvão energético	60	80	92	73	85	113	118	142	146	137	87	143	158	131	143
Carvão metalúrgico	183	471	528	525	513	569	556	581	815	851	499	755	677	668	625
Óleo diesel	9	8	9	7	7	6	6	6	10	8	4	4	7	3	6
Óleo combustível	29	26	62	60	78	65	74	122	154	158	138	156	95	87	93
Gás liquefeito de petróleo	60	81	97	93	89	91	94	92	86	78	62	69	16	10	5
Querosene	1	1	5	5	0	0	5	4	-	-	-	-	-	-	-
Gás de coqueria	335	343	338	339	356	386	370	338	334	335	241	276	346	339	320
Coque de carvão mineral	1860	2039	2145	2256	2258	2383	2263	2212	2235	2416	1849	2492	2372	2316	2383
Eletricidade	398	405	371	400	436	459	491	548	520	536	465	550	560	597	578
Carvão vegetal	612	554	511	638	606	640	785	790	744	825	629	922	972	1042	978
Outras fontes secundárias	126	101	122	131	121	149	117	68	138	149	88	110	241	59	76
total	3733	4172	4351	4609	4627	4947	4959	4996	5287	5628	4172	5589	5757	5606	5577

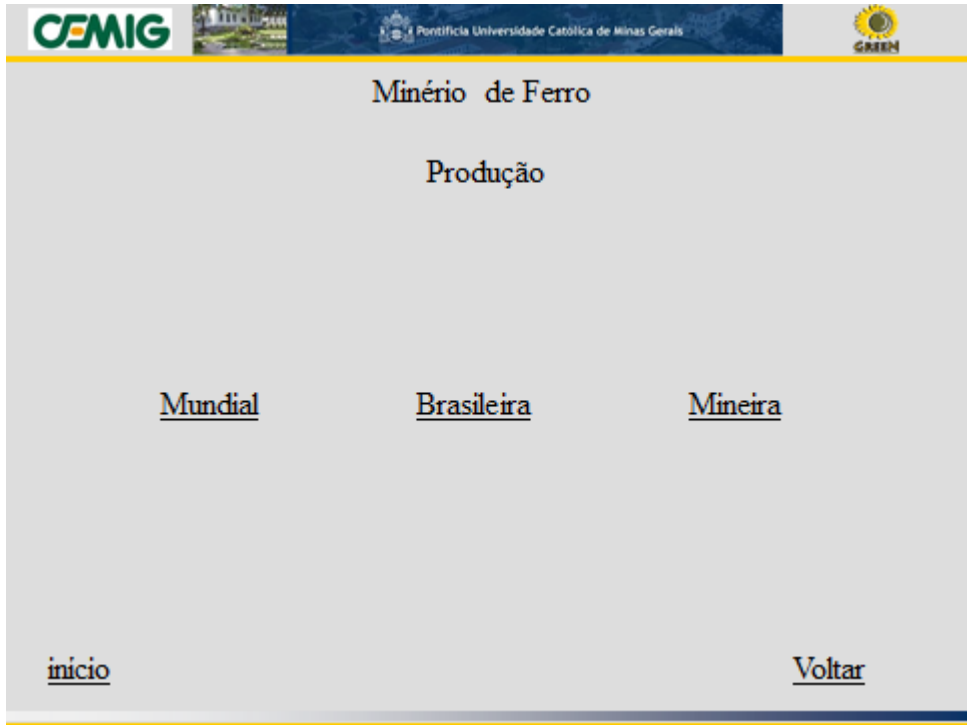
FONTE: BEEMG, 2015

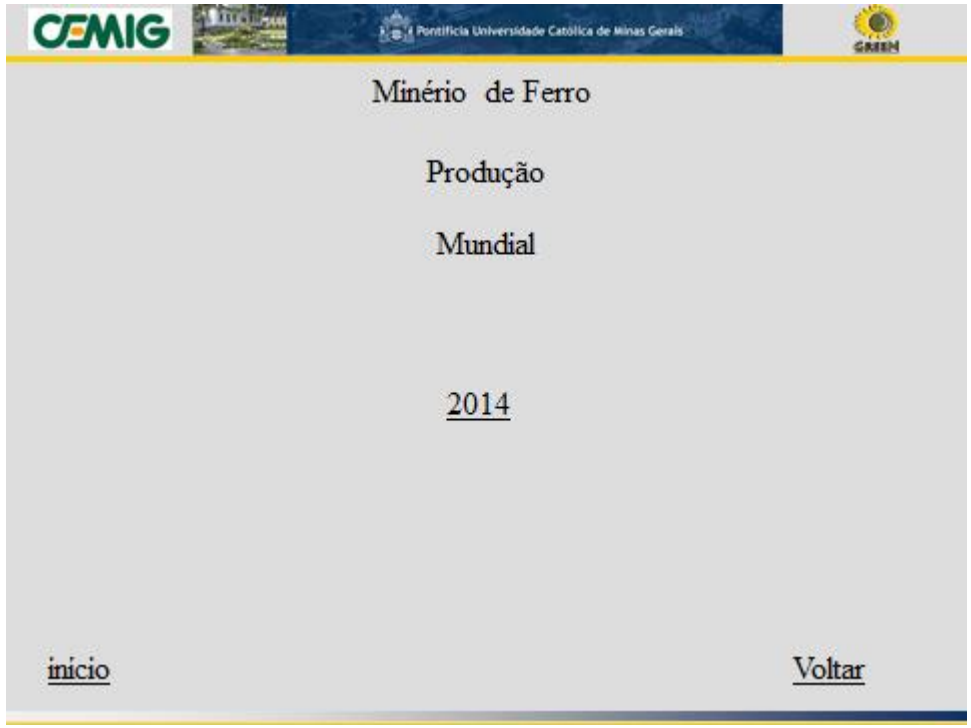
início Gráfico correspondente Voltar

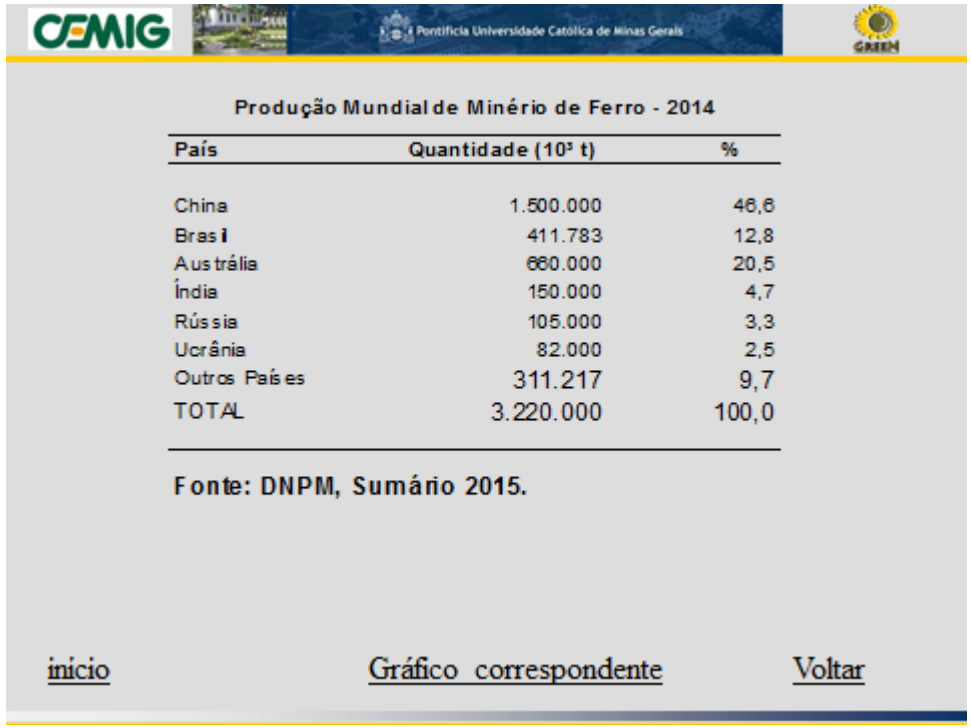

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Consumo energético de usinas integradas de Minas Gerais
2500
2000
1500
1000
500
0
[mil tEP]
1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013
Ano
Coque de carvão mineral
Carvão vegetal
Eletricidade
Carvão metalúrgico
Gás de coqueria
Óleo combustível
Carvão energético
Gás natural
Outras fontes secundárias
Óleo diesel
Gás liquefeito de petróleo
Querosene
inicio
Gráfico 2013
Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Participação dos Insumos no Consumo Energético das Siderurgias Integradas - 2013
Outras fontes secundárias; 1,4%
Eletricidade; 10,4%
Gás de coqueria; 5,7%
Gás liquefeito de petróleo; 0,1%
Óleo combustível; 1,7%
Óleo diesel; 0,1%
Gás natural; 6,6%
Carvão; 74,0%
Coque de carvão mineral; 42,7%
Metalúrgico; 11,2%
Energético; 2,6%
Vegetal; 17,5%
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Minério de Ferro
Produção
Reservas
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Minério de Ferro
Produção
Mundial
Brasileira
Mineira
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Minério de Ferro
Produção
Mundial
2014
início
Voltar

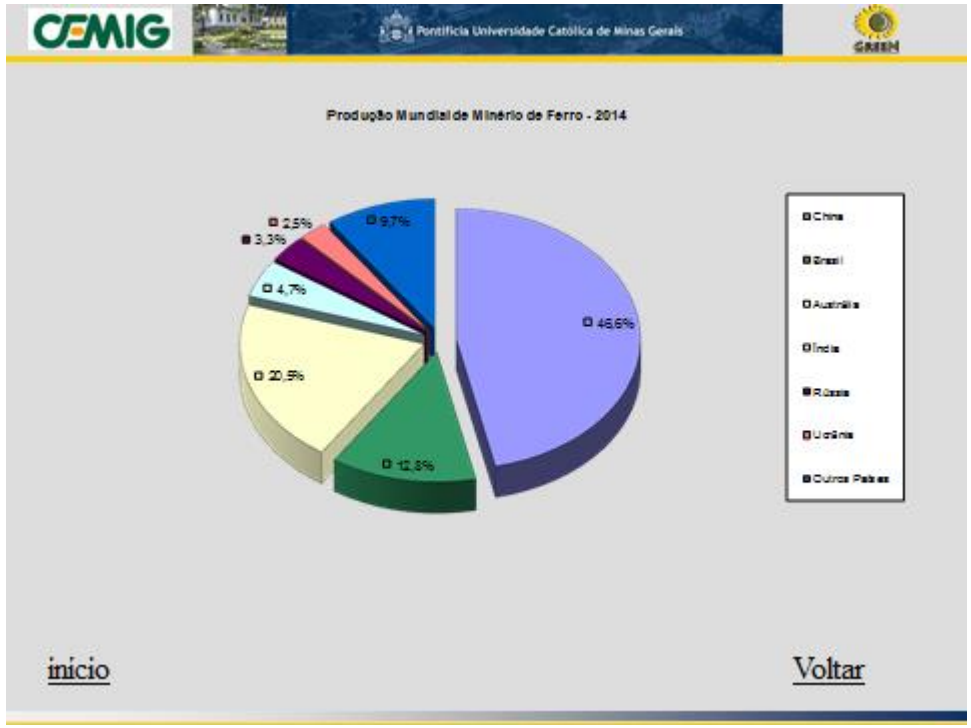


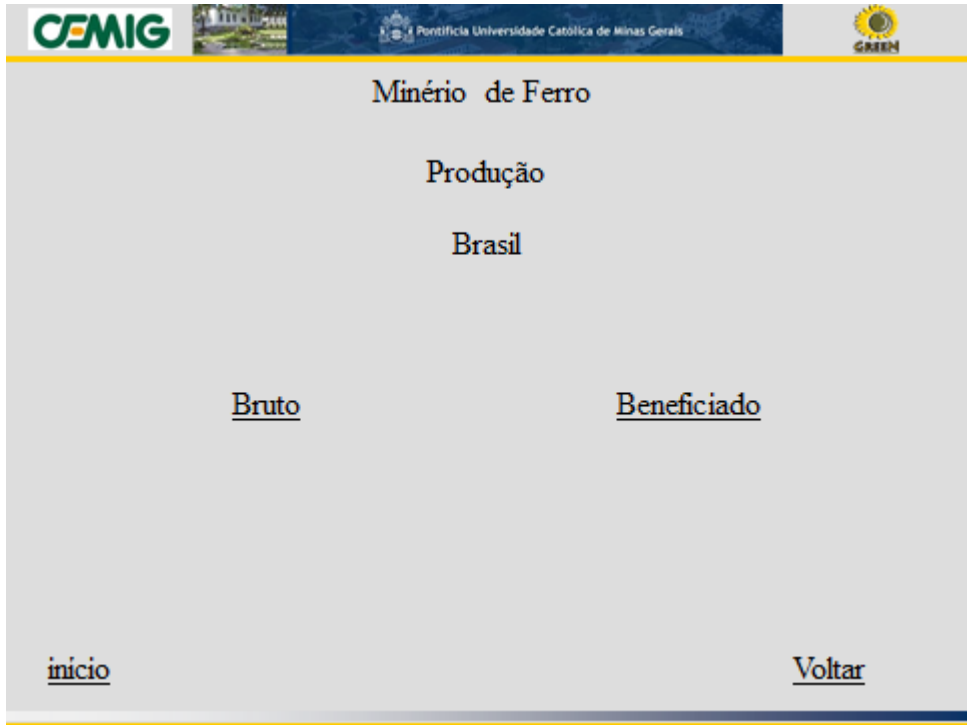
Produção Mundial de Minério de Ferro - 2014

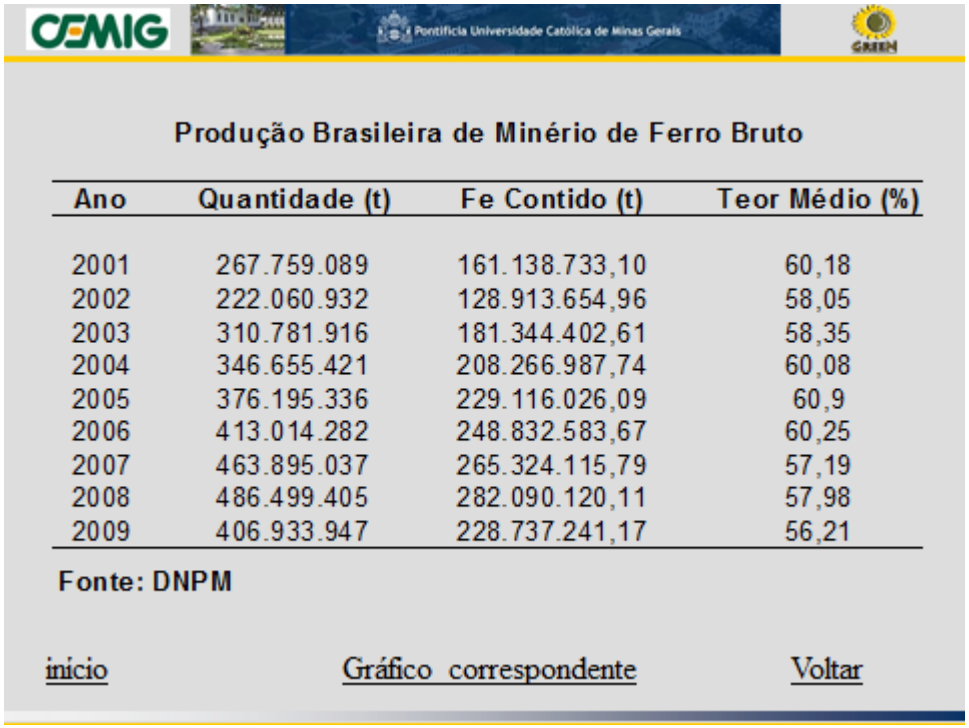
País	Quantidade (10^3 t)	%
China	1.500.000	46,6
Brasil	411.783	12,8
Austrália	660.000	20,5
Índia	150.000	4,7
Rússia	105.000	3,3
Ucrânia	82.000	2,5
Outros Países	311.217	9,7
TOTAL	3.220.000	100,0

Fonte: DNPM, Sumário 2015.

início Gráfico correspondente Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Produção Mundial de Minério de Ferro - 2014
46,6%
20,5%
12,8%
4,7%
3,3%
2,5%
9,7%
China
Brasil
Austrália
Índia
Rússia
Ucrânia
Outros Países
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Minério de Ferro
Produção
Brasil
Bruto
Beneficiado
início
Voltar

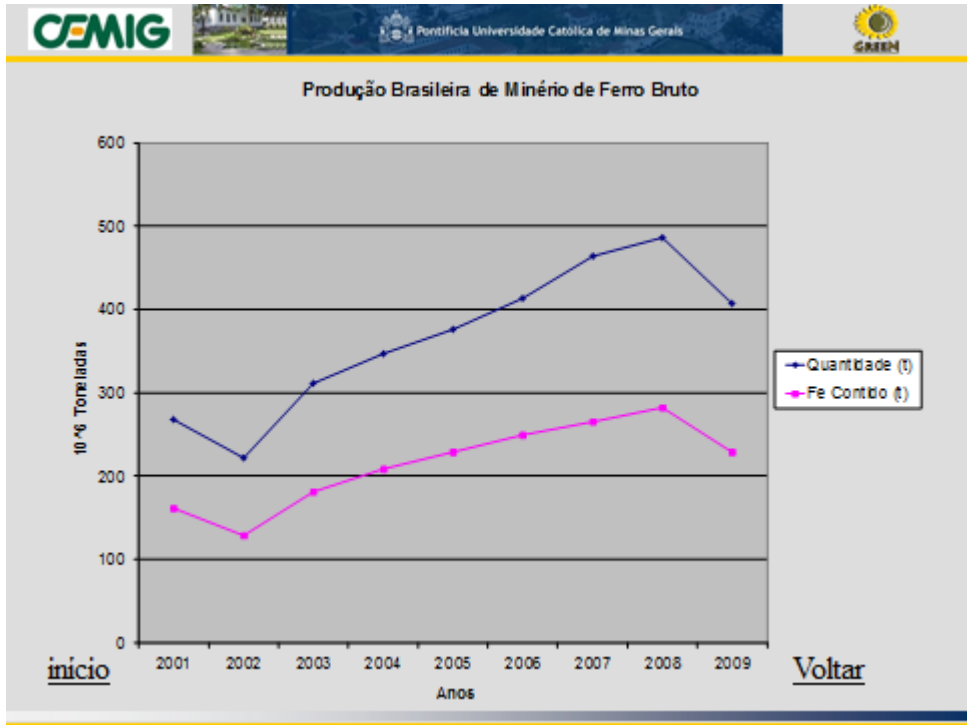


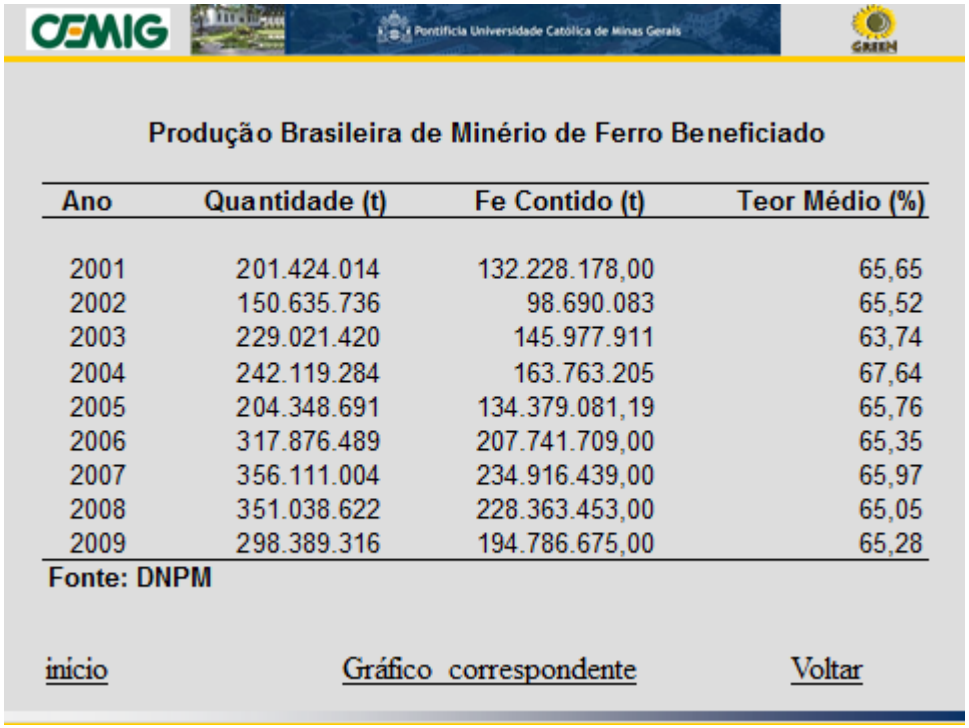
Produção Brasileira de Minério de Ferro Bruto

Ano	Quantidade (t)	Fe Contido (t)	Teor Médio (%)
2001	267.759.089	161.138.733,10	60,18
2002	222.060.932	128.913.654,96	58,05
2003	310.781.916	181.344.402,61	58,35
2004	346.655.421	208.266.987,74	60,08
2005	376.195.336	229.116.026,09	60,9
2006	413.014.282	248.832.583,67	60,25
2007	463.895.037	265.324.115,79	57,19
2008	486.499.405	282.090.120,11	57,98
2009	406.933.947	228.737.241,17	56,21

Fonte: DNPM

inicio Gráfico correspondente Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Produção Brasileira de Minério de Ferro Bruto
600
500
400
300
200
100
0
10^6 Toneladas
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
Anos
Quantidade (t)
Fe Contido (t)
início
Voltar

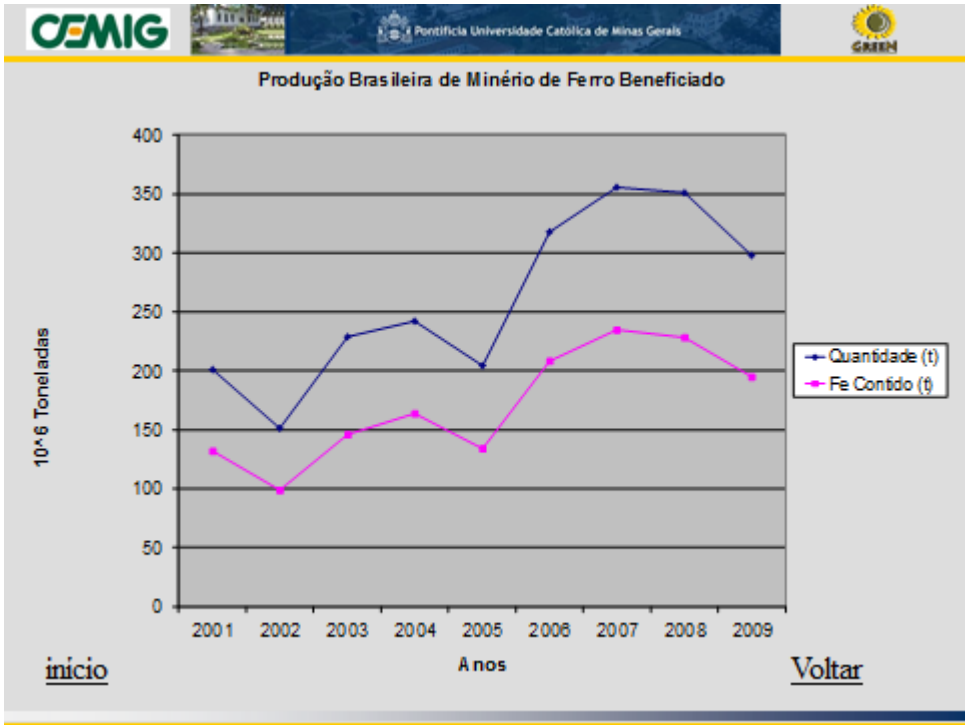


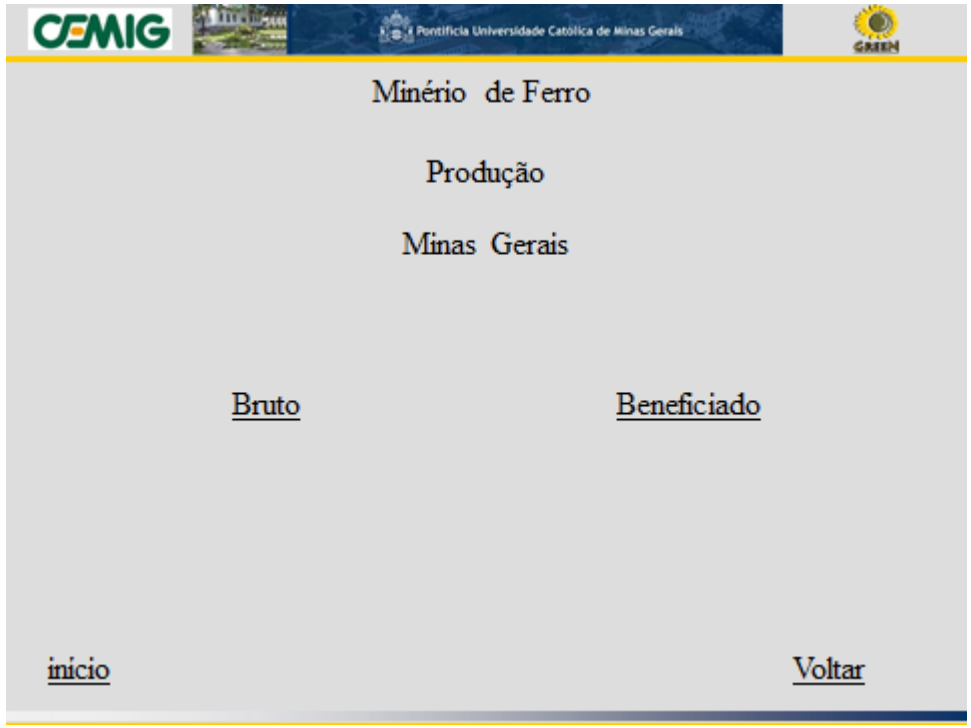
Produção Brasileira de Minério de Ferro Beneficiado

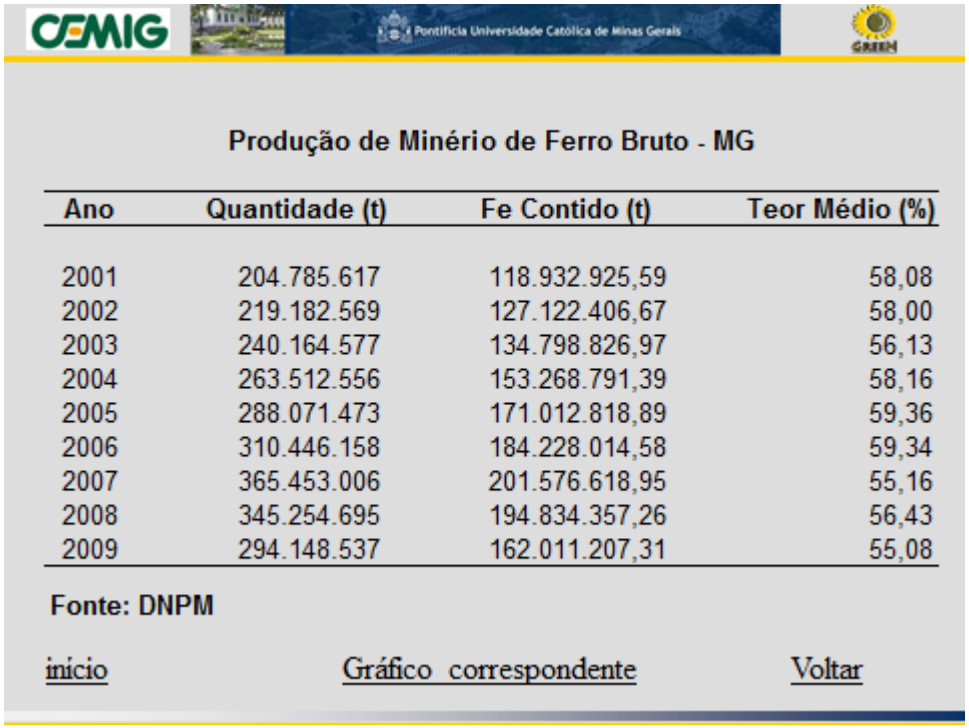
Ano	Quantidade (t)	Fe Contido (t)	Teor Médio (%)
2001	201.424.014	132.228.178,00	65,65
2002	150.635.736	98.690.083	65,52
2003	229.021.420	145.977.911	63,74
2004	242.119.284	163.763.205	67,64
2005	204.348.691	134.379.081,19	65,76
2006	317.876.489	207.741.709,00	65,35
2007	356.111.004	234.916.439,00	65,97
2008	351.038.622	228.363.453,00	65,05
2009	298.389.316	194.786.675,00	65,28

Fonte: DNPM

inicio Gráfico correspondente Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Produção Brasileira de Minério de Ferro Beneficiado
10^6 Toneladas
400
350
300
250
200
150
100
50
0
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
Anos
Quantidade (t)
Fe Contido (t)
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Minério de Ferro
Produção
Minas Gerais
Bruto
Beneficiado
início
Voltar

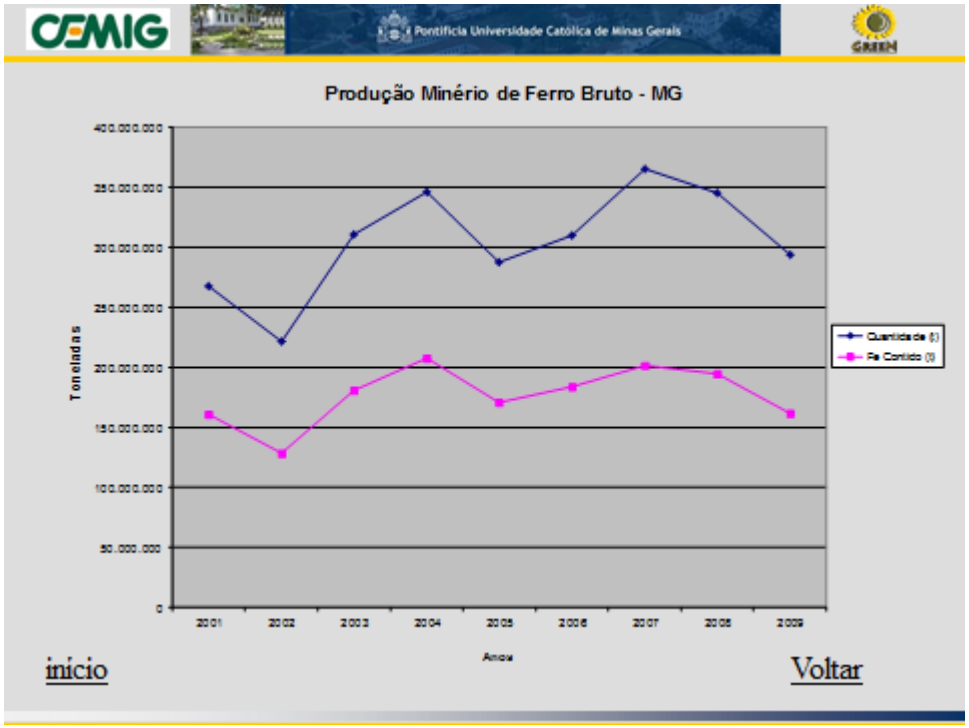


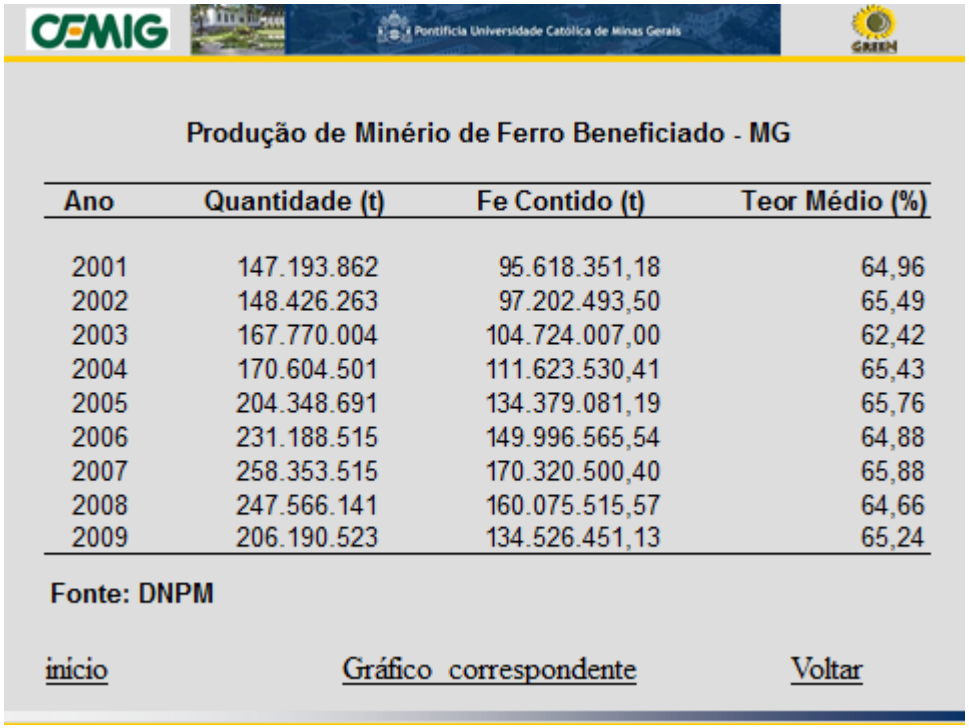
Produção de Minério de Ferro Bruto - MG

Ano	Quantidade (t)	Fe Contido (t)	Teor Médio (%)
2001	204.785.617	118.932.925,59	58,08
2002	219.182.569	127.122.406,67	58,00
2003	240.164.577	134.798.826,97	56,13
2004	263.512.556	153.268.791,39	58,16
2005	288.071.473	171.012.818,89	59,36
2006	310.446.158	184.228.014,58	59,34
2007	365.453.006	201.576.618,95	55,16
2008	345.254.695	194.834.357,26	56,43
2009	294.148.537	162.011.207,31	55,08

Fonte: DNPM

inicio Gráfico correspondente Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Produção Minério de Ferro Bruto - MG
400.000.000
350.000.000
300.000.000
250.000.000
200.000.000
150.000.000
100.000.000
50.000.000
0
Toneladas
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
Anos
Quantidade (t)
Fe Contido (t)
início
Voltar

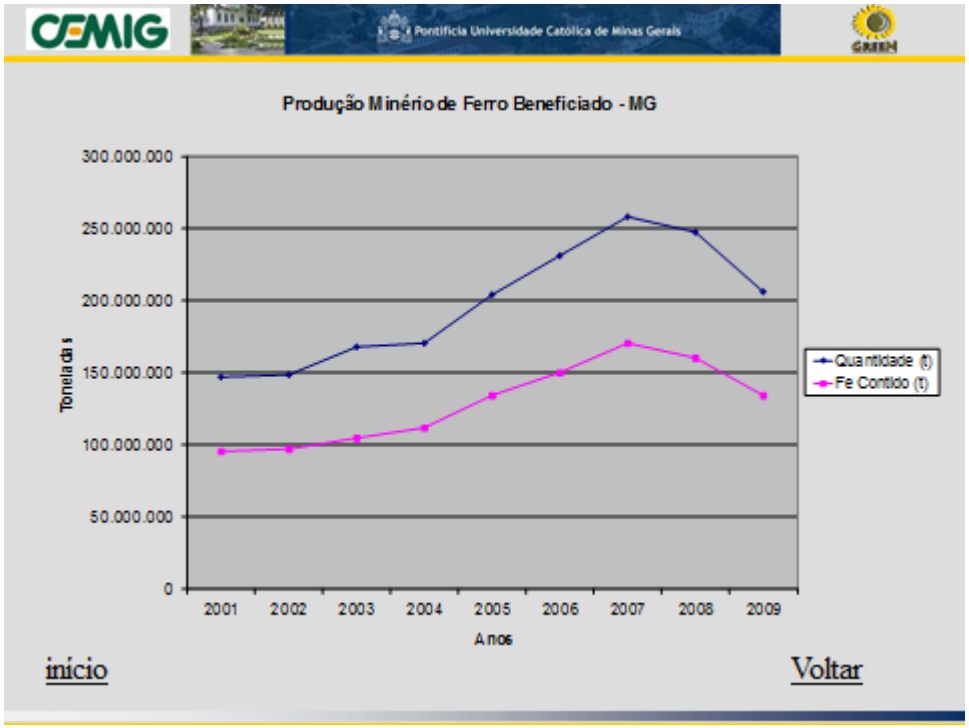


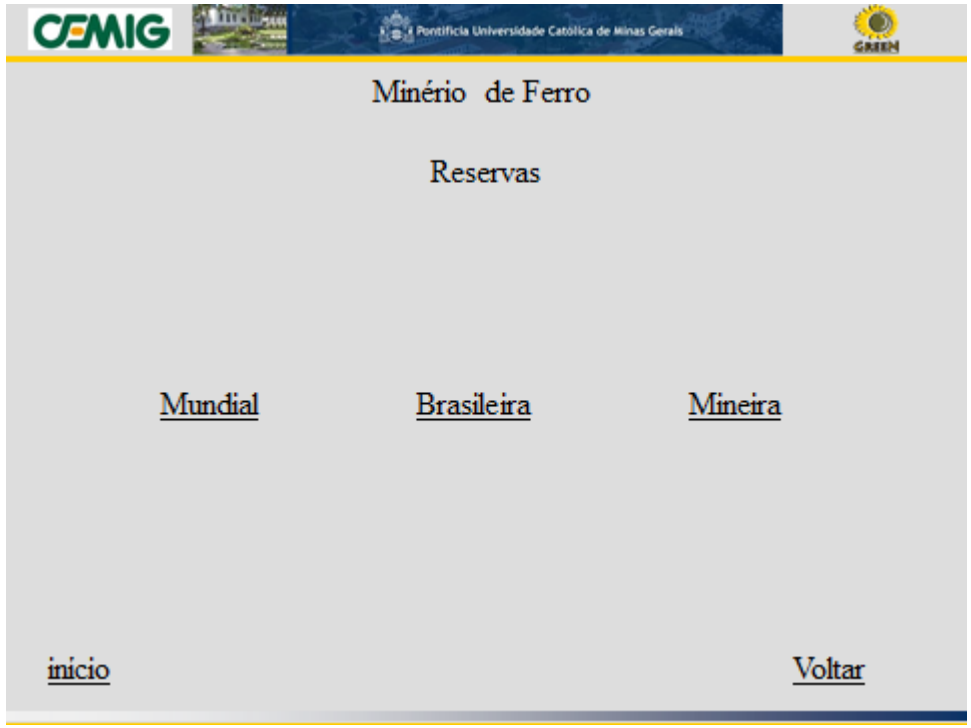
Produção de Minério de Ferro Beneficiado - MG

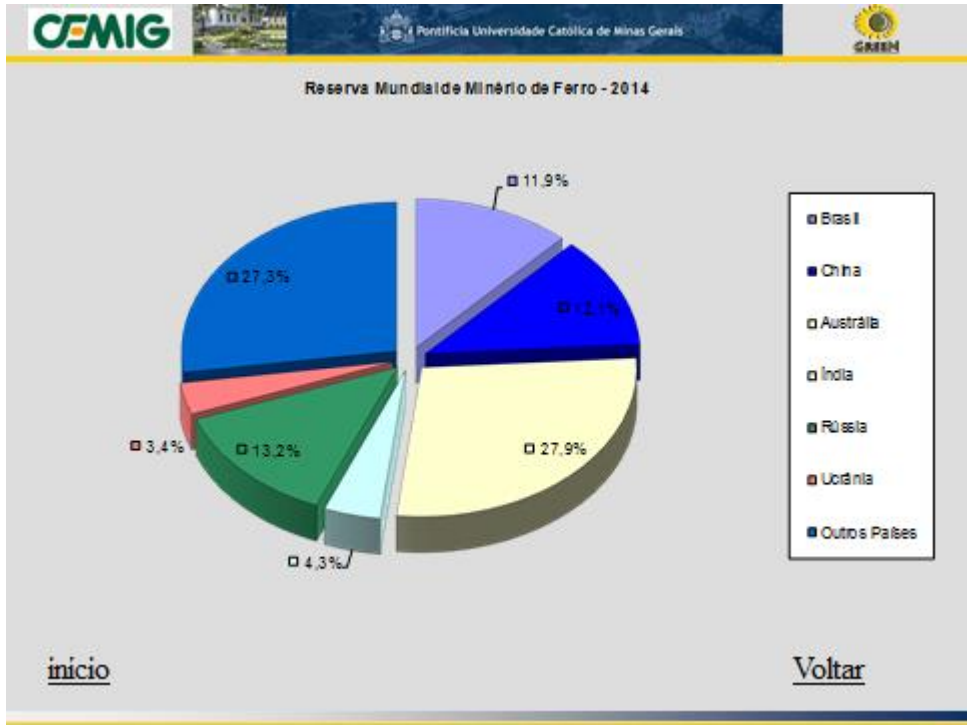
Ano	Quantidade (t)	Fe Contido (t)	Teor Médio (%)
2001	147.193.862	95.618.351,18	64,96
2002	148.426.263	97.202.493,50	65,49
2003	167.770.004	104.724.007,00	62,42
2004	170.604.501	111.623.530,41	65,43
2005	204.348.691	134.379.081,19	65,76
2006	231.188.515	149.996.565,54	64,88
2007	258.353.515	170.320.500,40	65,88
2008	247.566.141	160.075.515,57	64,66
2009	206.190.523	134.526.451,13	65,24

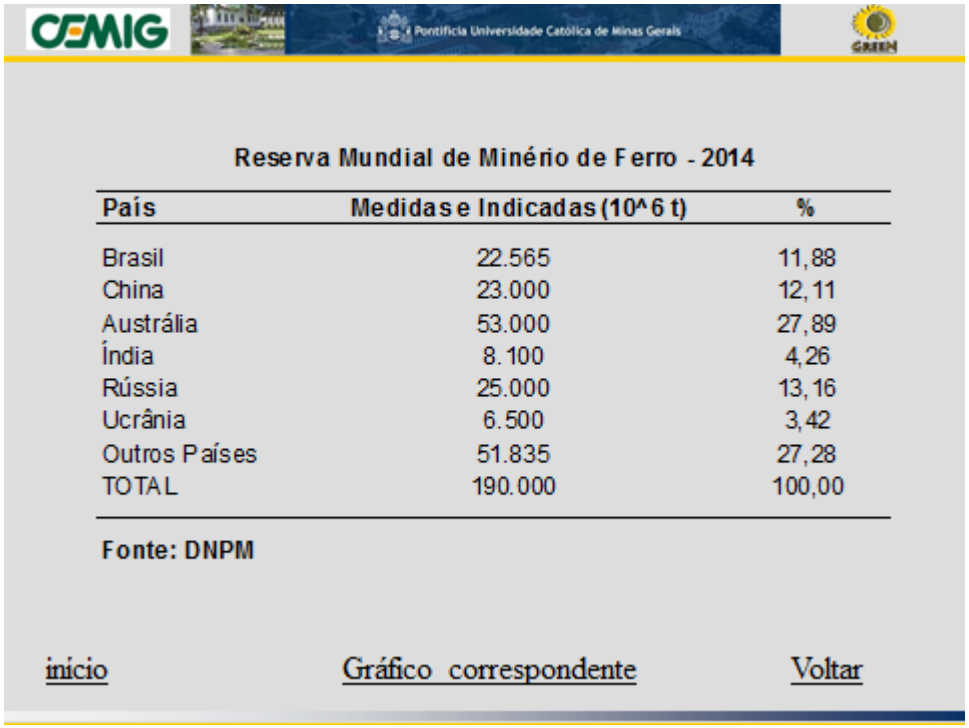
Fonte: DNPM

inicio Gráfico correspondente Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Produção Minério de Ferro Beneficiado - MG
300.000.000
250.000.000
200.000.000
150.000.000
100.000.000
50.000.000
0
Toneladas
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
Anos
Quantidade (t)
Fe Contido (t)
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Minério de Ferro
Reservas
Mundial
Brasileira
Mineira
início
Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Reserva Mundial de Minério de Ferro - 2014
11,9%
27,3%
27,9%
13,2%
3,4%
4,3%
Brasil
China
Austrália
Índia
Rússia
Ucrânia
Outros Países
início
Voltar

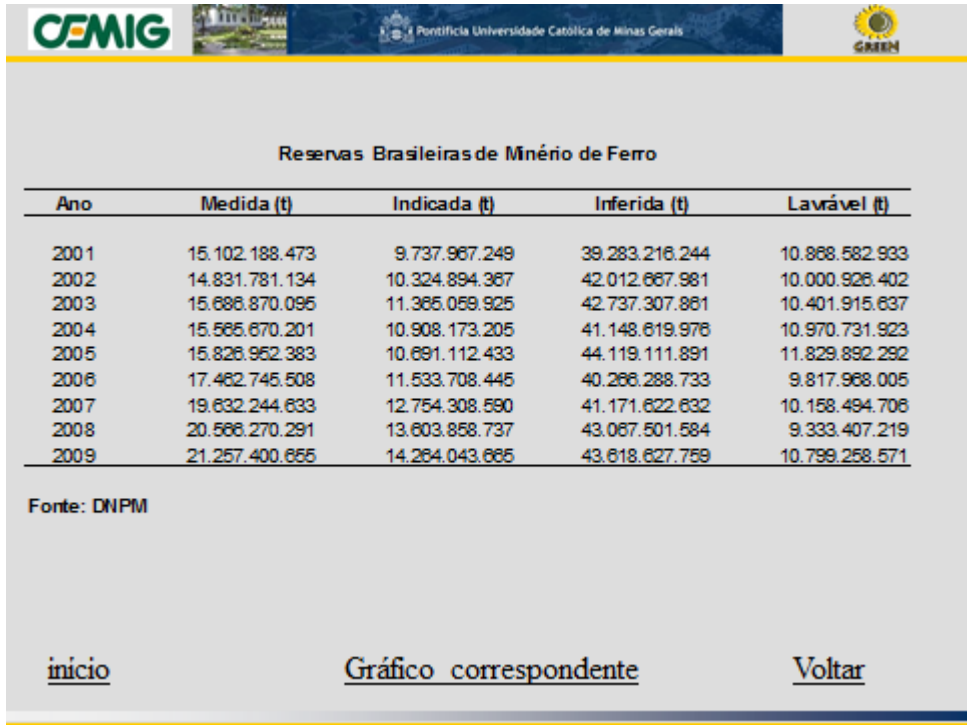


Reserva Mundial de Minério de Ferro - 2014

País	Medidas e Indicadas (10^6 t)	%
Brasil	22.565	11,88
China	23.000	12,11
Austrália	53.000	27,89
Índia	8.100	4,26
Rússia	25.000	13,16
Ucrânia	6.500	3,42
Outros Países	51.835	27,28
TOTAL	190.000	100,00

Fonte: DNPM

início Gráfico correspondente Voltar

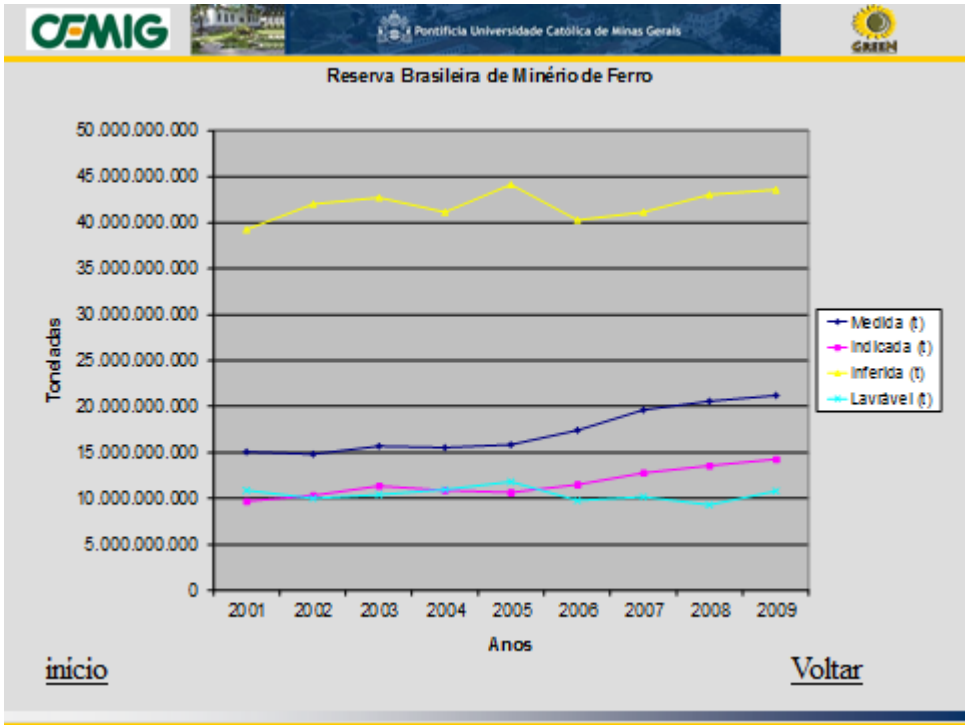


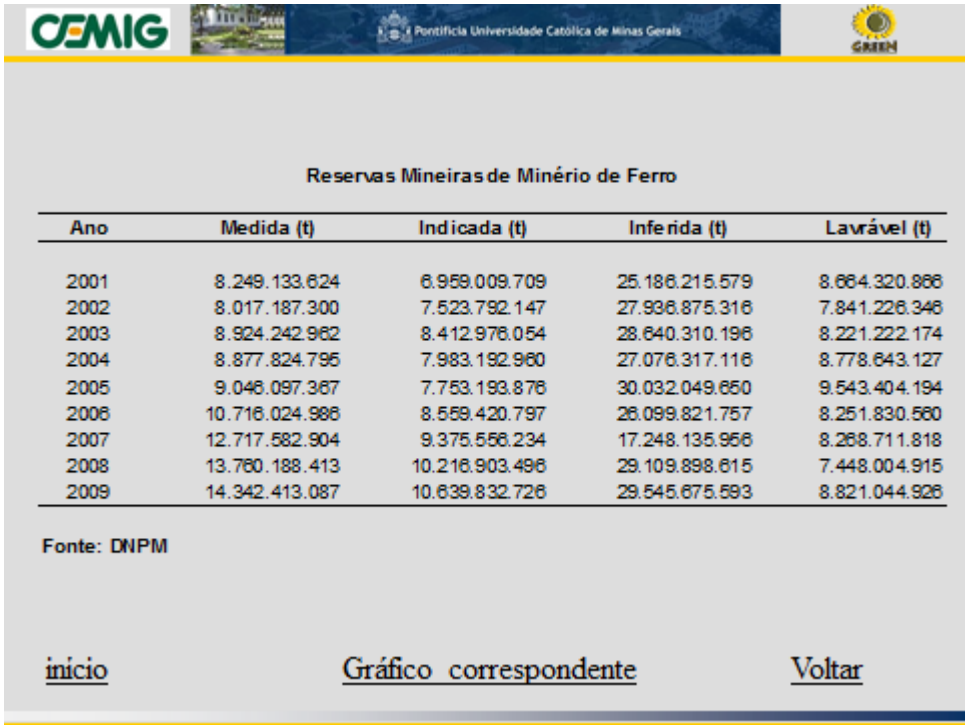
Reservas Brasileiras de Minério de Ferro

Ano	Medida (t)	Indicada (t)	Inferida (t)	Lavrável (t)
2001	15.102.188.473	9.737.967.249	39.283.216.244	10.868.582.933
2002	14.831.781.134	10.324.894.367	42.012.667.981	10.000.926.402
2003	15.686.870.095	11.365.059.925	42.737.307.861	10.401.915.637
2004	15.565.670.201	10.908.173.205	41.148.619.976	10.970.731.923
2005	15.826.952.383	10.691.112.433	44.119.111.891	11.829.892.292
2006	17.462.745.508	11.533.708.445	40.266.288.733	9.817.968.005
2007	19.632.244.633	12.754.308.590	41.171.622.632	10.158.494.706
2008	20.566.270.291	13.603.858.737	43.067.501.584	9.333.407.219
2009	21.257.400.655	14.264.043.665	43.618.627.759	10.799.258.571

Fonte: DNPM

início Gráfico correspondente Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Reserva Brasileira de Minério de Ferro
50.000.000.000
45.000.000.000
40.000.000.000
35.000.000.000
30.000.000.000
25.000.000.000
20.000.000.000
15.000.000.000
10.000.000.000
5.000.000.000
0
Toneladas
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
Anos
Medida (t)
Indicada (t)
Inferida (t)
Lavrável (t)
início
Voltar

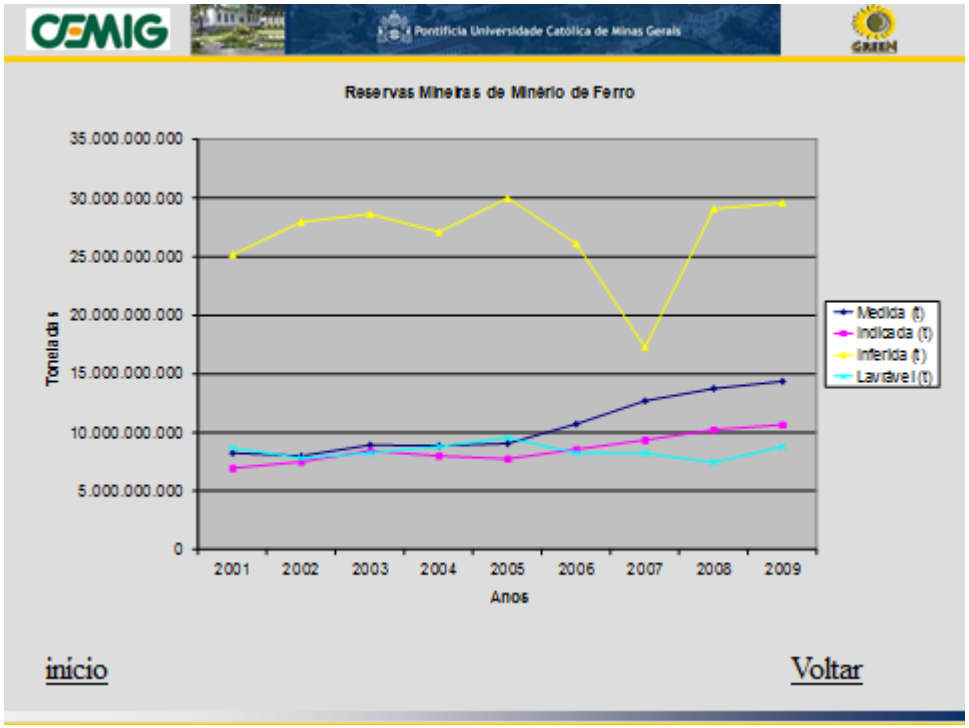


Reservas Mineiras de Minério de Ferro

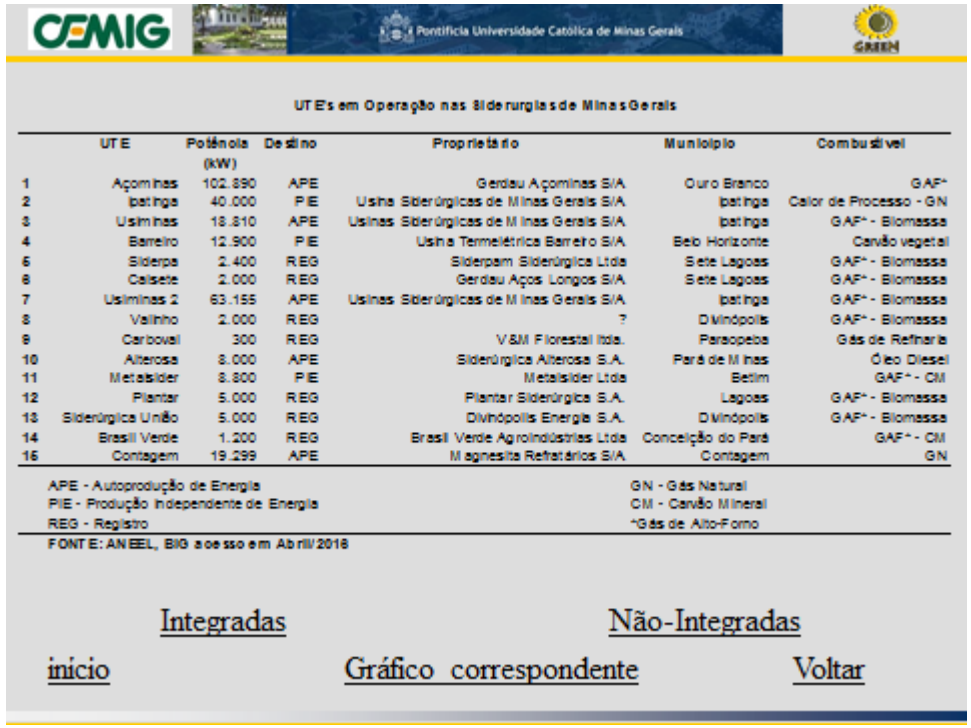
Ano	Medida (t)	Indicada (t)	Inferida (t)	Lavrável (t)
2001	8.249.133.624	6.959.009.709	25.186.215.579	8.664.320.866
2002	8.017.187.300	7.523.792.147	27.936.875.316	7.841.226.346
2003	8.924.242.962	8.412.976.054	28.640.310.196	8.221.222.174
2004	8.877.824.795	7.983.192.960	27.076.317.116	8.778.643.127
2005	9.046.097.367	7.753.193.876	30.032.049.650	9.543.404.194
2006	10.716.024.986	8.559.420.797	26.099.821.757	8.251.830.560
2007	12.717.582.904	9.375.556.234	17.248.135.956	8.268.711.818
2008	13.760.188.413	10.216.903.496	29.109.898.615	7.448.004.915
2009	14.342.413.087	10.639.832.726	29.545.675.593	8.821.044.926

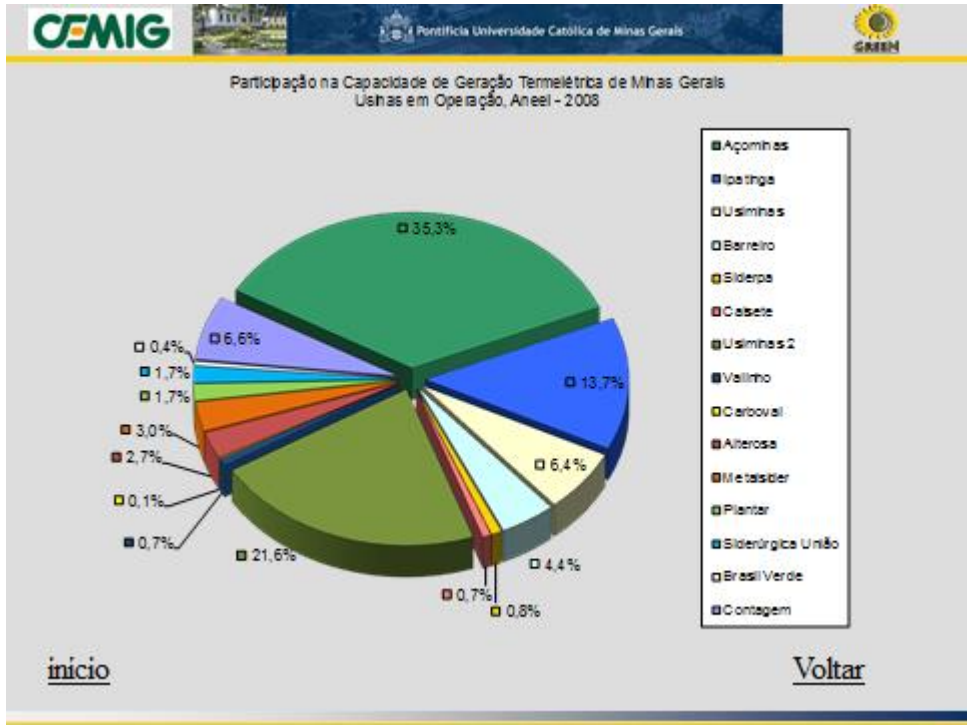
Fonte: DNPM

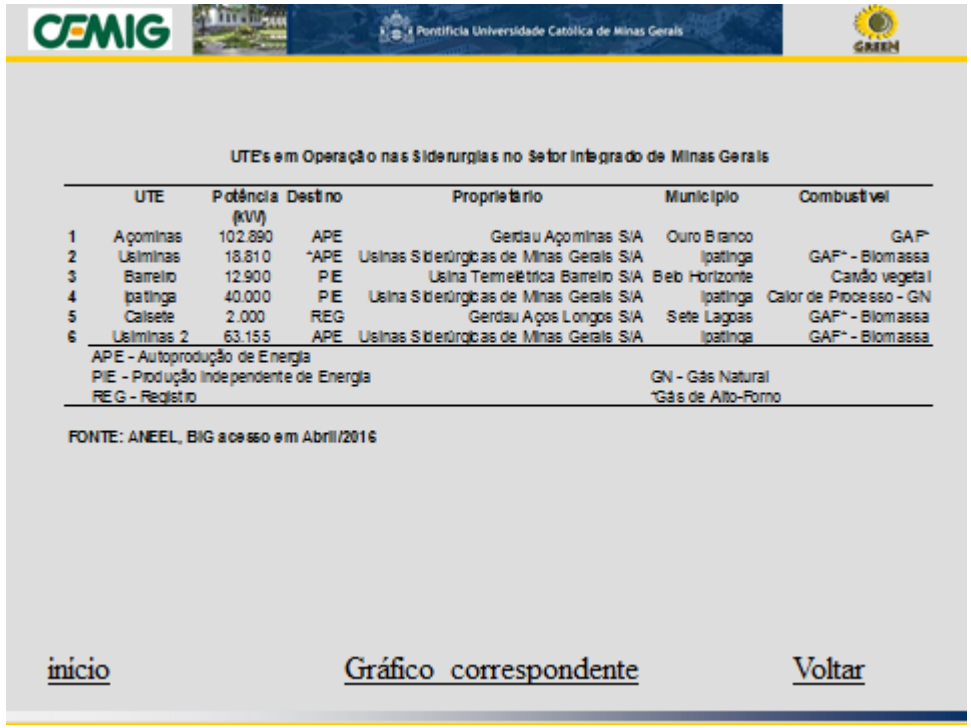
início Gráfico correspondente Voltar

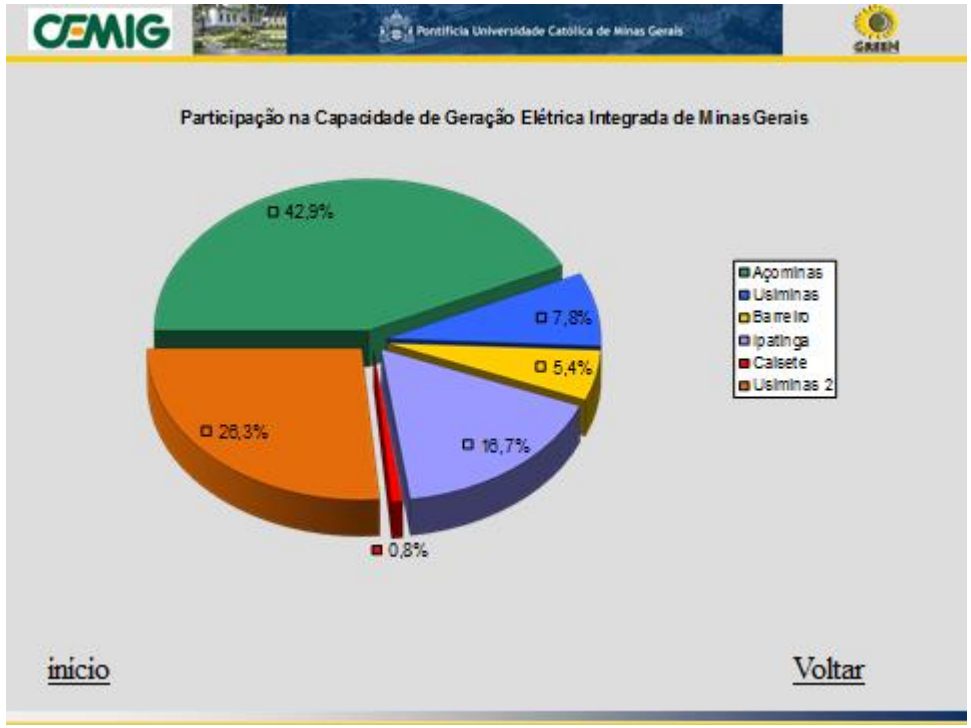

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Reservas Minerais de Minério de Ferro
35.000.000.000
30.000.000.000
25.000.000.000
20.000.000.000
15.000.000.000
10.000.000.000
5.000.000.000
0
Toneladas
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
Anos
Medida (t)
Indicada (t)
Inferida (t)
Lavrável (t)
início
Voltar

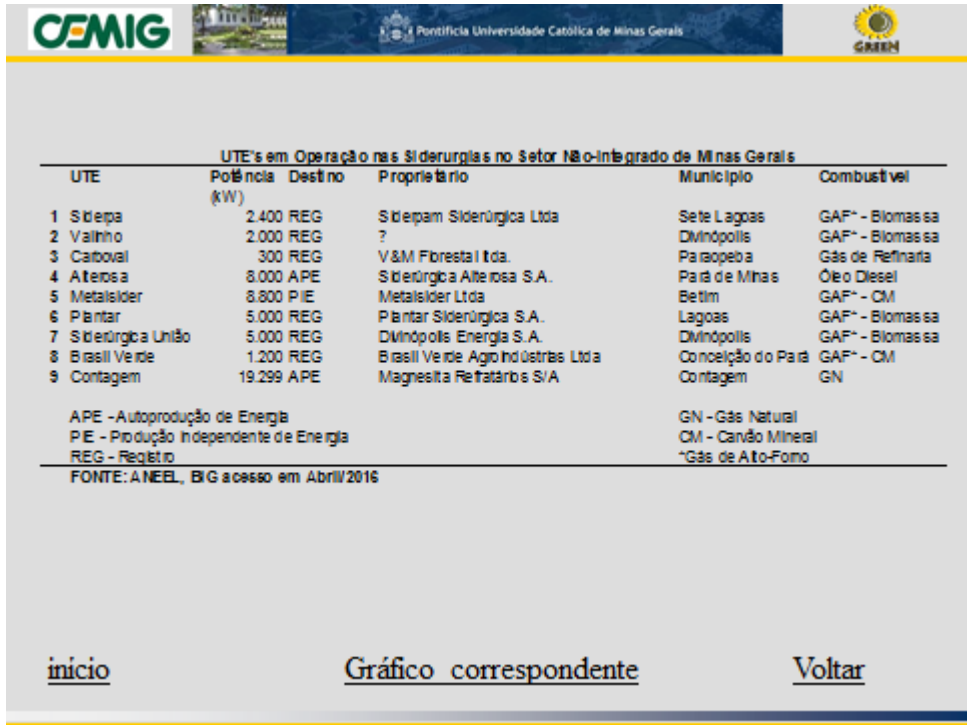
CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Usinas Termelétricas
Em Operação
Em Construção
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
UTE's em Operação nas Siderurgias de Minas Gerais
UTE Potência (kW) Destino Proprietário Município Combustível
1 Açominas 102.890 APE Gerdau Açominas S/A Ouro Branco GAF*
2 Ipatinga 40.000 PIE Usiha Siderúrgicas de Minas Gerais S/A Ipatinga Calor de Processo - GN
3 Usiminas 18.810 APE Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A Ipatinga GAF* - Biomassa
4 Barreiro 12.900 PIE Usina Termelétrica Barreiro S/A Belo Horizonte Carvão vegetal
6 Siderpa 2.400 REG Siderpam Siderúrgica Ltda Sete Lagoas GAF* - Biomassa
8 Calsete 2.000 REG Gerdau Aços Longos S/A Sete Lagoas GAF* - Biomassa
7 Usiminas 2 63.155 APE Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A Ipatinga GAF* - Biomassa
8 Valinho 2.000 REG ? Divinópolis GAF* - Biomassa
9 Carboval 300 REG V&M Florestal ltda. Paracopeba Gás de Refinaria
10 Alterosa 8.000 APE Siderúrgica Alterosa S.A. Pará de Minas Óleo Diesel
11 Metalsider 8.800 PIE Metalsider Ltda Betim GAF* - CM
12 Plantar 5.000 REG Plantar Siderúrgica S.A. Lagoas GAF* - Biomassa
13 Siderúrgica União 5.000 REG Divinópolis Energia S.A. Divinópolis GAF* - Biomassa
14 Brasil Verde 1.200 REG Brasil Verde Agroindústrias Ltda Conceição do Pará GAF* - CM
16 Contagem 19.299 APE Magnesita Refratários S/A Contagem GN
APE - Autoprodução de Energia
PIE - Produção Independente de Energia
REG - Registro
GN - Gás Natural
CM - Carvão Mineral
*Gás de Alto-Forno
FONTE: ANEEL, BIG acesso em Abril/2018
Integradas
Não-Integradas
início
Gráfico correspondente
Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Participação na Capacidade de Geração Termelétrica de Minas Gerais
Usinas em Operação, Aneel - 2008
35,3%
13,7%
6,4%
4,4%
0,8%
0,7%
21,6%
0,7%
0,1%
2,7%
3,0%
1,7%
1,7%
0,4%
6,6%
Açominas
Ipatinga
Usiminas
Barreiro
Siderpa
Calsete
Usominas2
Vallinho
Carbonval
Alterosa
Metalsider
Plantar
Siderúrgica União
Brasil Verde
Contagem
início
Voltar


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
UTE's em Operação nas Siderurgias no Setor Integrado de Minas Gerais
UTE Potência (kW) Destino Proprietário Município Combustível
1 Açominas 102.890 APE Gerdau Açominas S/A Ouro Branco GAP*
2 Usiminas 18.810 *APE Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A Ipatinga GAF* - Biomassa
3 Barreiro 12.900 PIE Usina Termelétrica Barreiro S/A Belo Horizonte Carvão vegetal
4 Ipatinga 40.000 PIE Usina Siderúrgicas de Minas Gerais S/A Ipatinga Calor de Processo - GN
5 Calsete 2.000 REG Gerdau Aços Longos S/A Sete Lagoas GAF* - Biomassa
6 Usiminas 2 63.155 APE Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A Ipatinga GAF* - Biomassa
APE - Autoprodução de Energia
PIE - Produção Independente de Energia
REG - Registro
GN - Gás Natural
*Gás de Alto-Forno
FONTE: ANEEL, BIG acesso em Abril/2016
início
Gráfico correspondente
Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Participação na Capacidade de Geração Elétrica Integrada de Minas Gerais
42,9%
7,8%
5,4%
16,7%
0,8%
26,3%
Açominas
Usiminas
Barreiro
Ipatinga
Calsete
Usiminas 2
início
Voltar



UTE's em Operação nas Siderurgias no Setor Não-Integrado de Minas Gerais

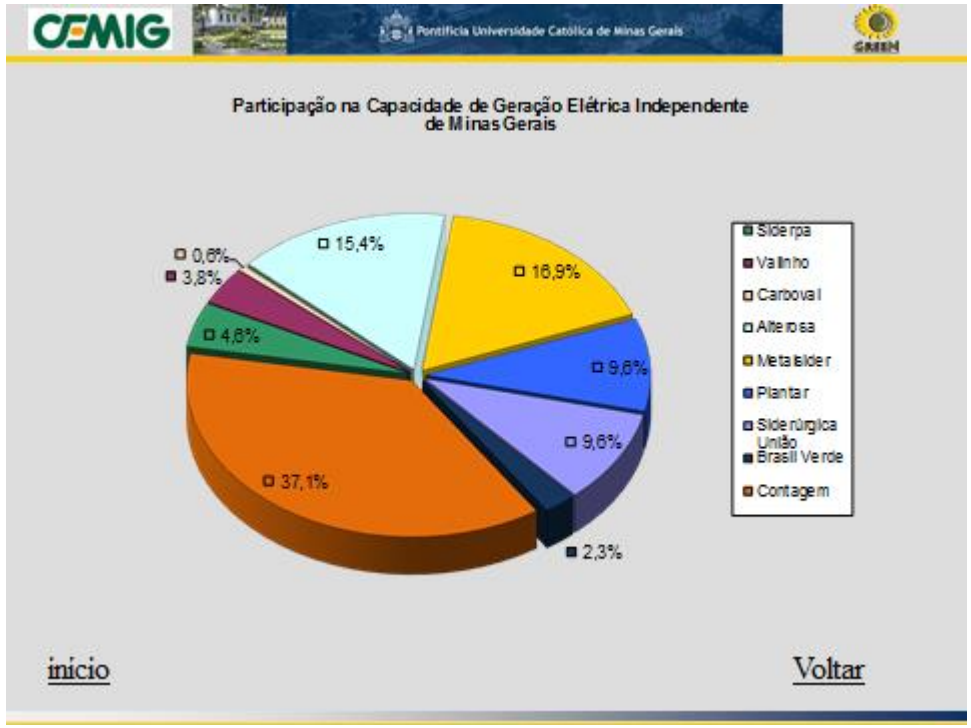
	UTE	Potência (kW)	Destino	Proprietário	Município	Combustível
1	Siderpa	2.400	REG	Siderpam Siderúrgica Ltda	Sete Lagoas	GAF* - Biomassa
2	Valinho	2.000	REG	?	Divinópolis	GAF* - Biomassa
3	Carboval	300	REG	V&M Florestal Ltda.	Paraopeba	Gás de Refinaria
4	Alterosa	8.000	APE	Siderúrgica Alterosa S.A.	Pará de Minas	Óleo Diesel
5	Metalsider	8.800	PIE	Metalsider Ltda	Betim	GAF* - CM
6	Plantar	5.000	REG	Plantar Siderúrgica S.A.	Lagoas	GAF* - Biomassa
7	Siderúrgica União	5.000	REG	Divinópolis Energia S.A.	Divinópolis	GAF* - Biomassa
8	Brasil Verde	1.200	REG	Brasil Verde Agroindústrias Ltda	Conceição do Pará	GAF* - CM
9	Contagem	19.299	APE	Magnesita Refratários S/A	Contagem	GN

APE - Autoprodução de Energia
PIE - Produção Independente de Energia
REG - Registro

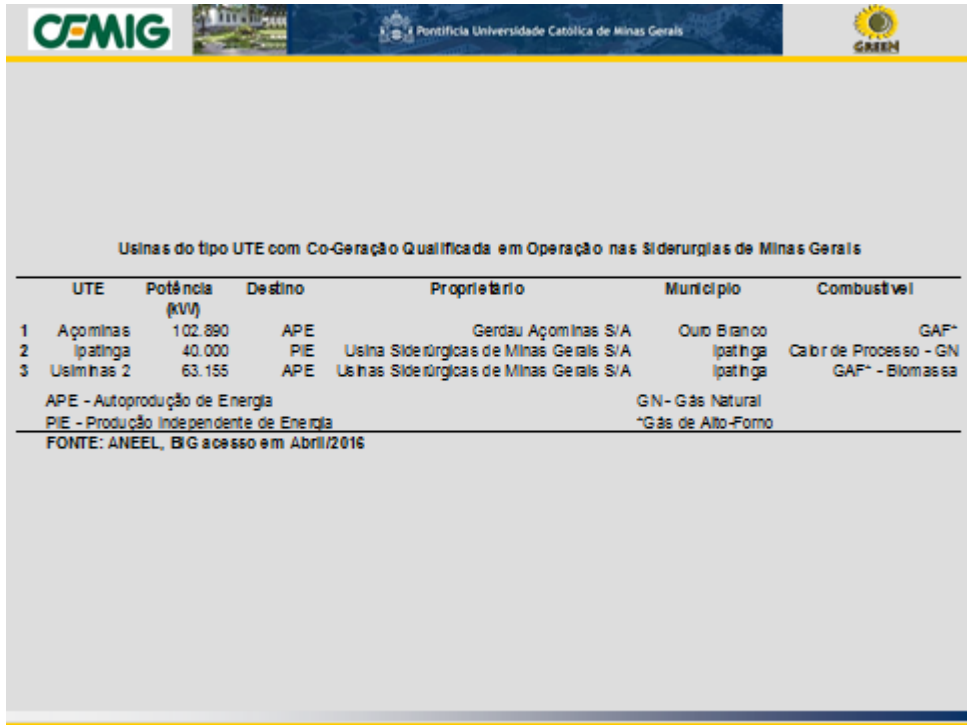
GN - Gás Natural
CM - Carvão Mineral
*Gás de Alto-Forno

FONTE: ANEEL, BIG acesso em Abril/2016

início Gráfico correspondente Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Participação na Capacidade de Geração Elétrica Independente de Minas Gerais
15,4%
16,9%
0,6%
3,8%
4,6%
9,6%
9,6%
37,1%
2,3%
Siderpa
Valinho
Carbonal
Alterosa
Metalsider
Plantar
Siderúrgica União
Brasil Verde
Contagem
início
Voltar

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Usinas Termelétricas em construção não iniciada
UTE Potência (kW) Destino Proprietário Município Combustível
1 Mat-Prima 1200 *REG Mat-Prima Comércio de Metais Ltda Divinópolis GAP* - CM
2 RVR 1200 *REG Siderurgia e Empreendimentos Florestais Ltda. Prudente de Morais GAP* - PE
3 Cisam 2000 *REG Cisam Siderurgia Ltda Pará de Minas Carvão Vegetal
4 Divigusa 2500 *REG Divigusa Indústria e Comércio Ltda Divinópolis GAP* - CM
5 Mat-Prima II 1200 *REG Mat-Prima Comércio de Metais Ltda Divinópolis GAP* - CM
** Gás de Alto-Forno
*Registro
FONTE: ANEEL, BIG acesso em Abril/2016.
início
Voltar

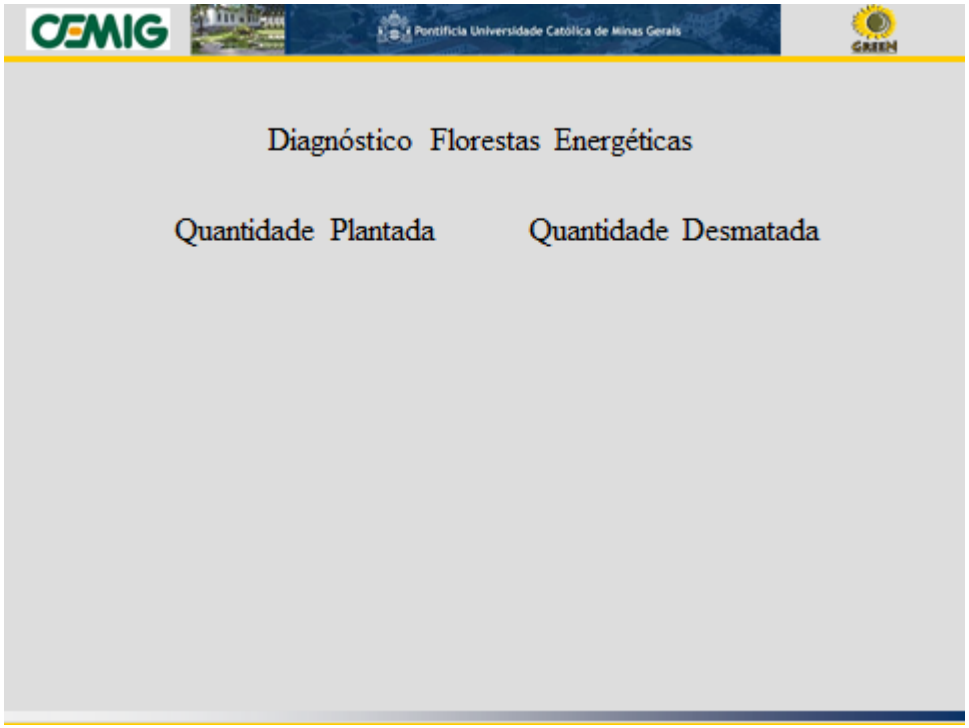


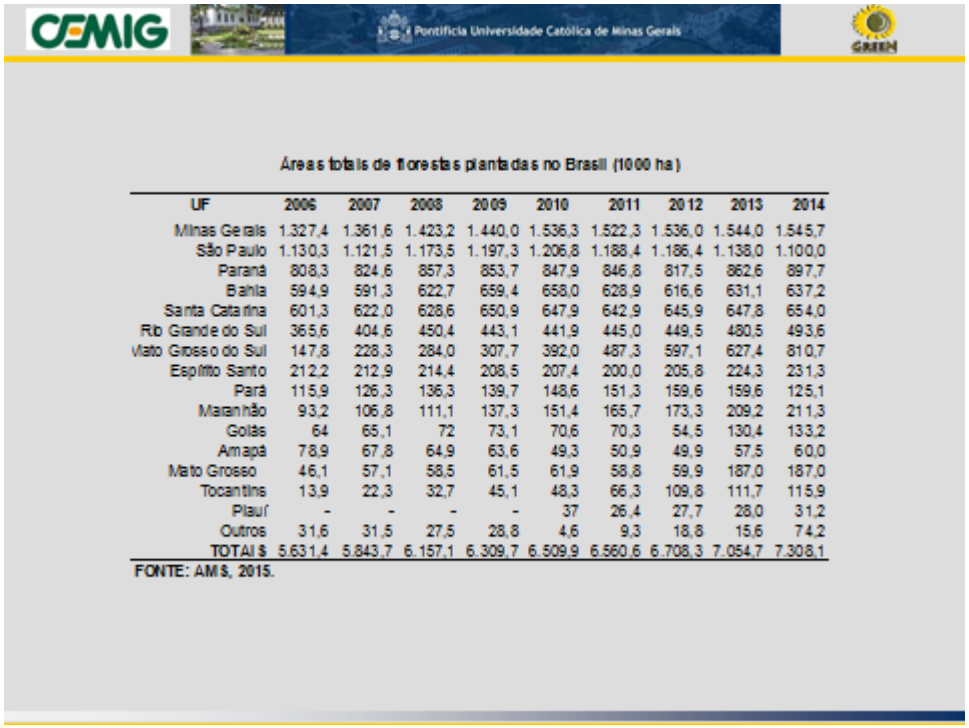
Usinas do tipo UTE com Co-Geração Qualificada em Operação nas Siderurgias de Minas Gerais

	UTE	Potência (KW)	Destino	Proprietário	Município	Combustível
1	Açominas	102.890	APE	Gerdau Açominas S/A	Ouro Branco	GAF*
2	Ipatinga	40.000	PIE	Usina Siderúrgicas de Minas Gerais S/A	Ipatinga	Calor de Processo - GN
3	Usiminas 2	63.155	APE	Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A	Ipatinga	GAF* - Biomassa

APE - Autoprodução de Energia
PIE - Produção Independente de Energia
GN - Gás Natural
*Gás de Alto-Forno

FONTE: ANEEL, BIG acesso em Abril/2016


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Diagnóstico Florestas Energéticas
Quantidade Plantada
Quantidade Desmatada

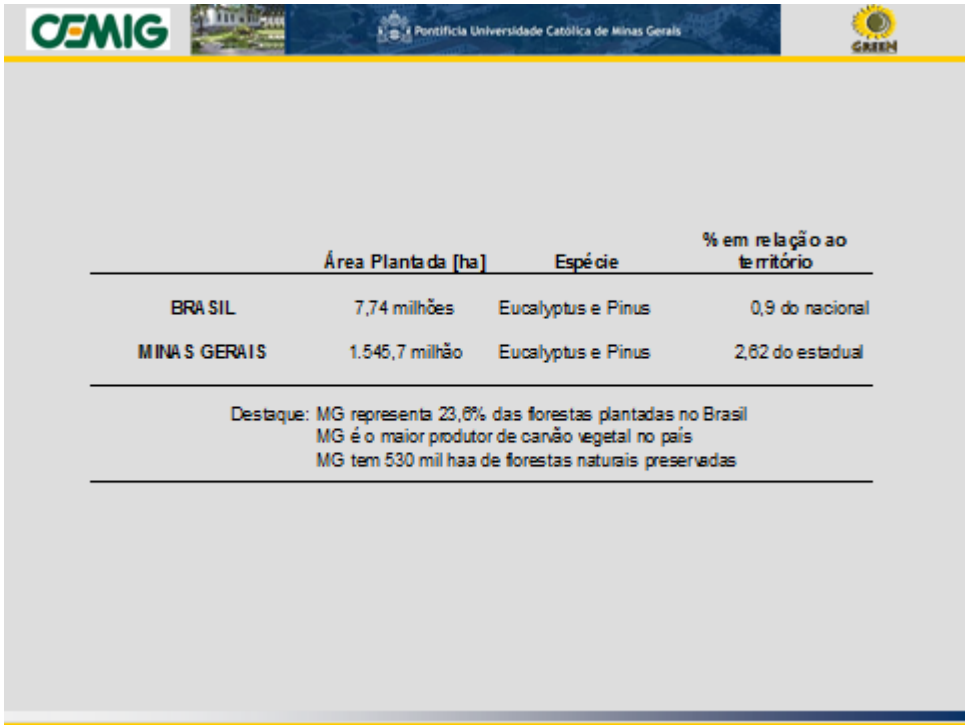


Áreas totais de florestas plantadas no Brasil (1000 ha)

UF	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Minas Gerais	1.327,4	1.361,6	1.423,2	1.440,0	1.536,3	1.522,3	1.536,0	1.544,0	1.545,7
São Paulo	1.130,3	1.121,5	1.173,5	1.197,3	1.206,8	1.188,4	1.186,4	1.138,0	1.100,0
Paraná	808,3	824,6	857,3	853,7	847,9	846,8	817,5	862,6	897,7
Bahia	594,9	591,3	622,7	659,4	658,0	628,9	616,6	631,1	637,2
Santa Catarina	601,3	622,0	628,6	650,9	647,9	642,9	645,9	647,8	654,0
Rio Grande do Sul	365,6	404,6	450,4	443,1	441,9	445,0	449,5	480,5	493,6
Mato Grosso do Sul	147,8	228,3	284,0	307,7	392,0	487,3	597,1	627,4	810,7
Espírito Santo	212,2	212,9	214,4	208,5	207,4	200,0	205,8	224,3	231,3
Pará	115,9	126,3	136,3	139,7	148,6	151,3	159,6	159,6	125,1
Maranhão	93,2	106,8	111,1	137,3	151,4	165,7	173,3	209,2	211,3
Goiás	64	65,1	72	73,1	70,6	70,3	54,5	130,4	133,2
Amapá	78,9	67,8	64,9	63,6	49,3	50,9	49,9	57,5	60,0
Mato Grosso	46,1	57,1	58,5	61,5	61,9	58,8	59,9	187,0	187,0
Tocantins	13,9	22,3	32,7	45,1	48,3	66,3	109,8	111,7	115,9
Piauí	-	-	-	-	37	26,4	27,7	28,0	31,2
Outros	31,6	31,5	27,5	28,8	4,6	9,3	18,8	15,6	74,2
TOTAIS	5.631,4	5.843,7	6.157,1	6.309,7	6.509,9	6.560,6	6.708,3	7.054,7	7.308,1

FONTE: AMS, 2015.

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Áreas totais de florestas plantadas no Brasil - Representatividade do estado (2014)
Minas Gerais
São Paulo
Paraná
Bahia
Santa Catarina
Rio Grande do Sul
Mato Grosso do Sul
Espírito Santo
Pará
Maranhão
Goiás
Amapá
Mato Grosso
Tocantins
Piauí
Outros



	Área Plantada [ha]	Espécie	% em relação ao território
BRASIL	7,74 milhões	Eucalyptus e Pinus	0,9 do nacional
MINAS GERAIS	1.545,7 milhão	Eucalyptus e Pinus	2,62 do estadual

Destaque: MG representa 23,6% das florestas plantadas no Brasil
MG é o maior produtor de carvão vegetal no país
MG tem 530 mil haa de florestas naturais preservadas

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
FLORESTAS PLANTADAS E ÁREA PRESERVADA EM MG
530 mil ha de área preservada
52.700 mil ha de Pinus
1.493,0 mil ha de Eucaliptos
Área total de florestas plantadas: 1.545,7 mil ha
Fonte: AMS.

Biomas presentes no estado de Minas Gerais

Biomas presentes no estado de Minas Gerais

Bioma	Área Original do bioma (km²)	Percentual em relação ao estado (%)	Percentual em relação ao Brasil (%)
Cerrado	333710	56,90	16,37
Mata Atlântica	276234	47,10	21,09
Caatinga	11099	1,89	1,34
TOTAL	621043	105,89	38,80

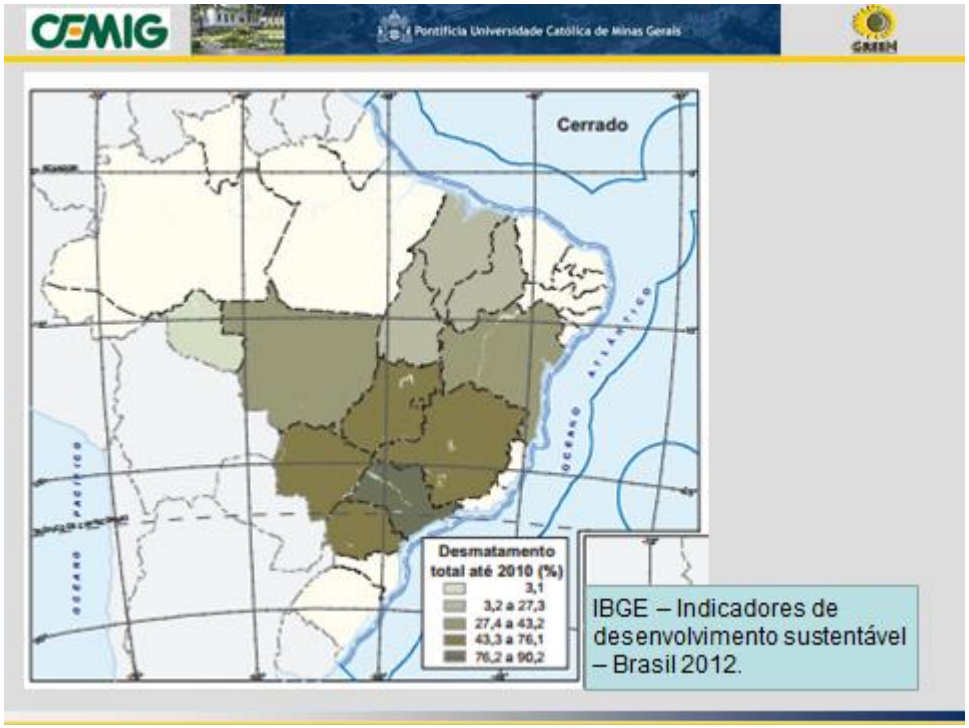
Fonte: IBGE, 2015.

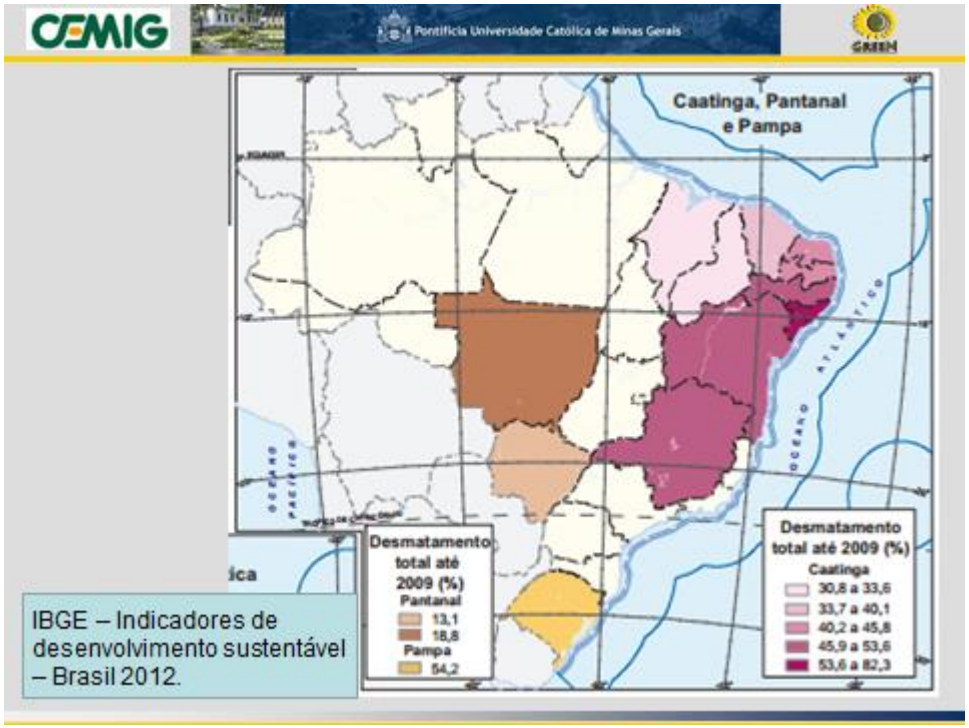
Desmatamento em Minas Gerais

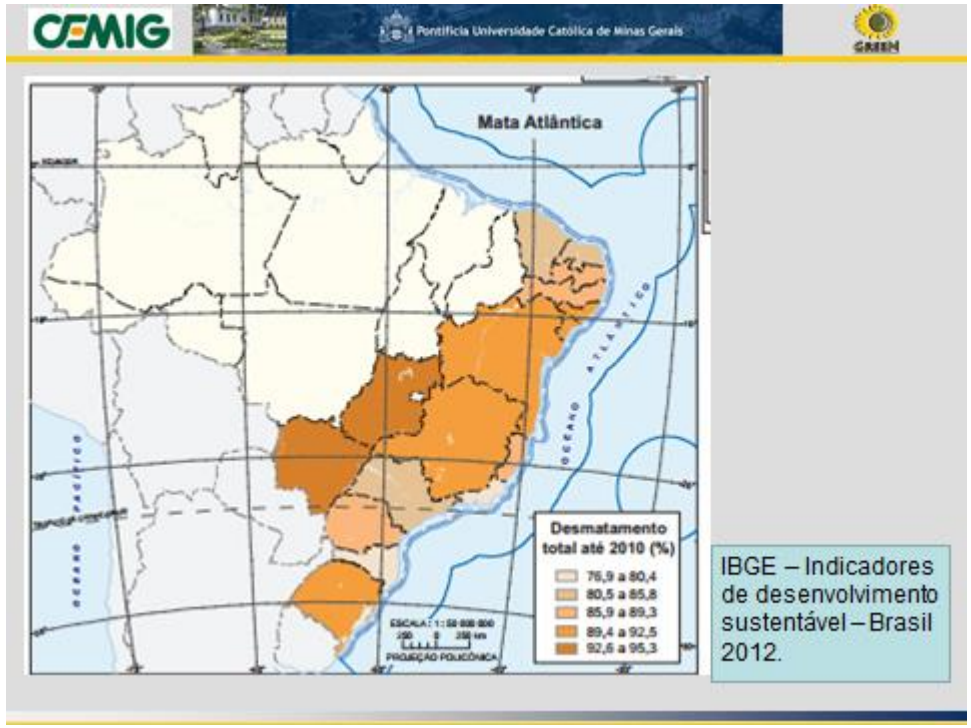
Desmatamento biomas presentes no estado de Minas Gerais

Bioma	Área Original do bioma (km²)	ANO referência	Área desmatada até ano de referência (km²)	Percentual de área remanescente até ano referência (%)
Cerrado	333710	2010	190731	42,8
Mata Atlântica	276234	2012	243892	11,70
Caatinga	11099	2009	5822	47,5

Fonte: IBGE, 2015.


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Cerrado
OCEANO ATLÂNTICO
OCEANO PACÍFICO
Desmatamento total até 2010 (%)
3,1
3,2 a 27,3
27,4 a 43,2
43,3 a 76,1
76,2 a 90,2
IBGE – Indicadores de desenvolvimento sustentável – Brasil 2012.

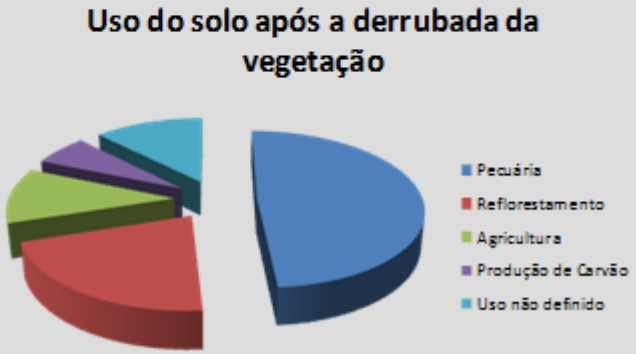

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Caatinga, Pantanal
e Pampa
Desmatamento
total até
2009 (%)
Pantanal
13,1
18,8
Pampa
54,2
Desmatamento
total até 2009 (%)
Caatinga
30,8 a 33,6
33,7 a 40,1
40,2 a 45,8
45,9 a 53,6
53,6 a 82,3
IBGE – Indicadores de desenvolvimento sustentável – Brasil 2012.

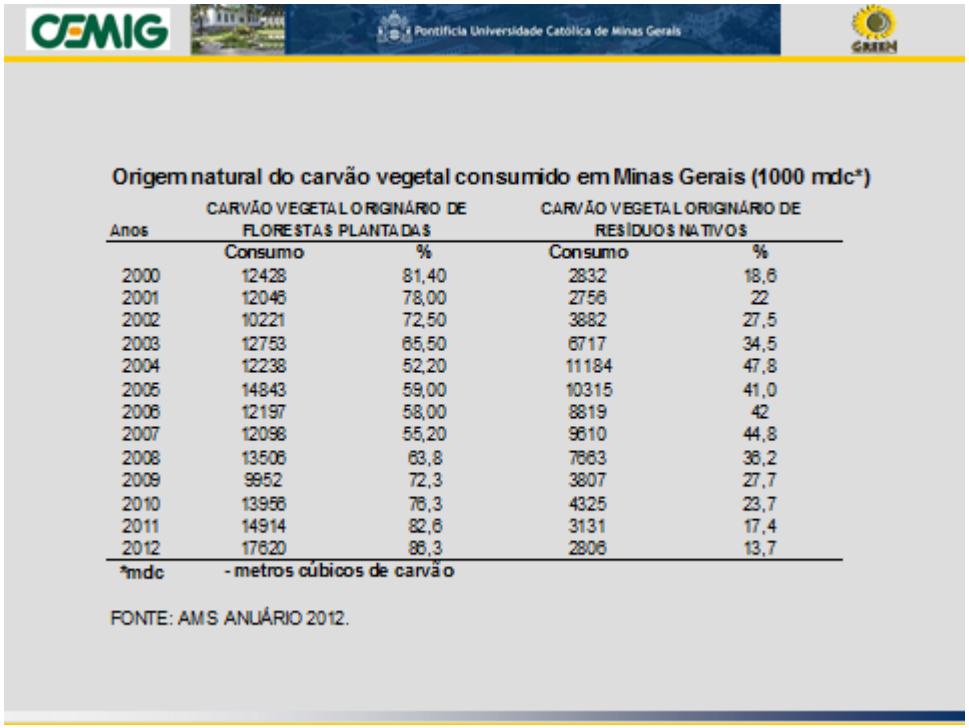

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Mata Atlântica
OCEANO ATLÂNTICO
OCEANO PACÍFICO
Desmatamento total até 2010 (%)
76,9 a 80,4
80,5 a 85,8
85,9 a 89,3
89,4 a 92,5
92,6 a 95,3
PROJEÇÃO POLICÔNICA
IBGE – Indicadores de desenvolvimento sustentável – Brasil 2012.

Uso do solo após a derrubada da vegetação
Ano de 2008 (%)

Pecuária	48,9
Reflorestamento	21,2
Agricultura	11,4
Produção de Carvão	6,3
Uso não definido	12,4

Fonte: Semad, 2008.



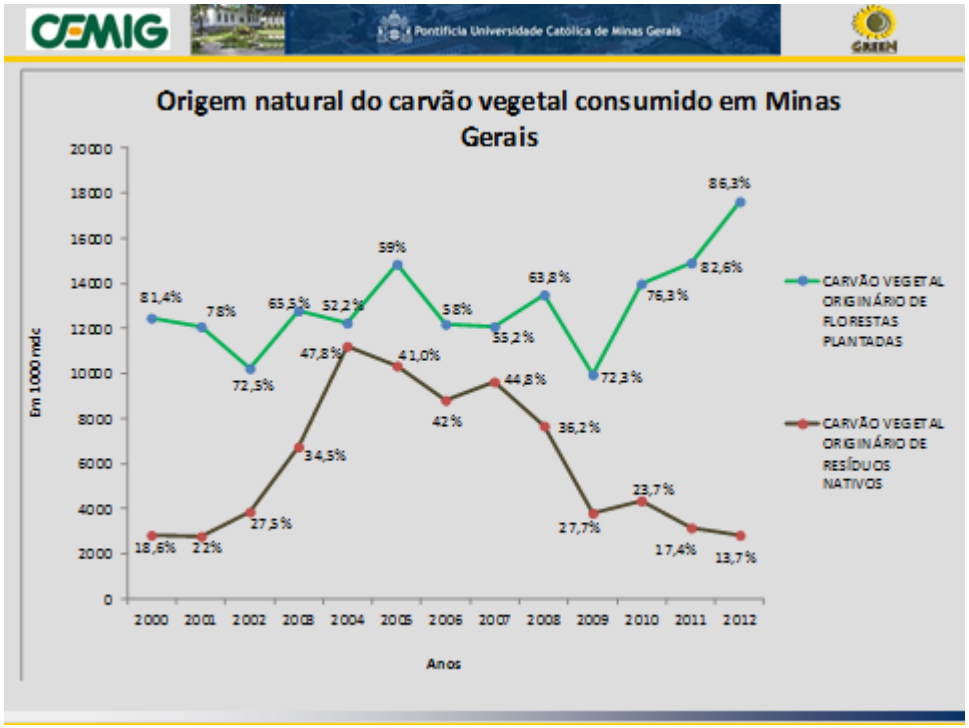


Origem natural do carvão vegetal consumido em Minas Gerais (1000 mdc*)

Anos	CARVÃO VEGETAL ORIGINÁRIO DE FLORESTAS PLANTADAS		CARVÃO VEGETAL ORIGINÁRIO DE RESÍDUOS NATIVOS	
	Consumo	%	Consumo	%
2000	12428	81,40	2832	18,6
2001	12046	78,00	2756	22
2002	10221	72,50	3882	27,5
2003	12753	65,50	6717	34,5
2004	12238	52,20	11184	47,8
2005	14843	59,00	10315	41,0
2006	12197	58,00	8819	42
2007	12098	55,20	9810	44,8
2008	13506	63,8	7663	36,2
2009	9952	72,3	3807	27,7
2010	13956	76,3	4325	23,7
2011	14914	82,6	3131	17,4
2012	17620	86,3	2806	13,7

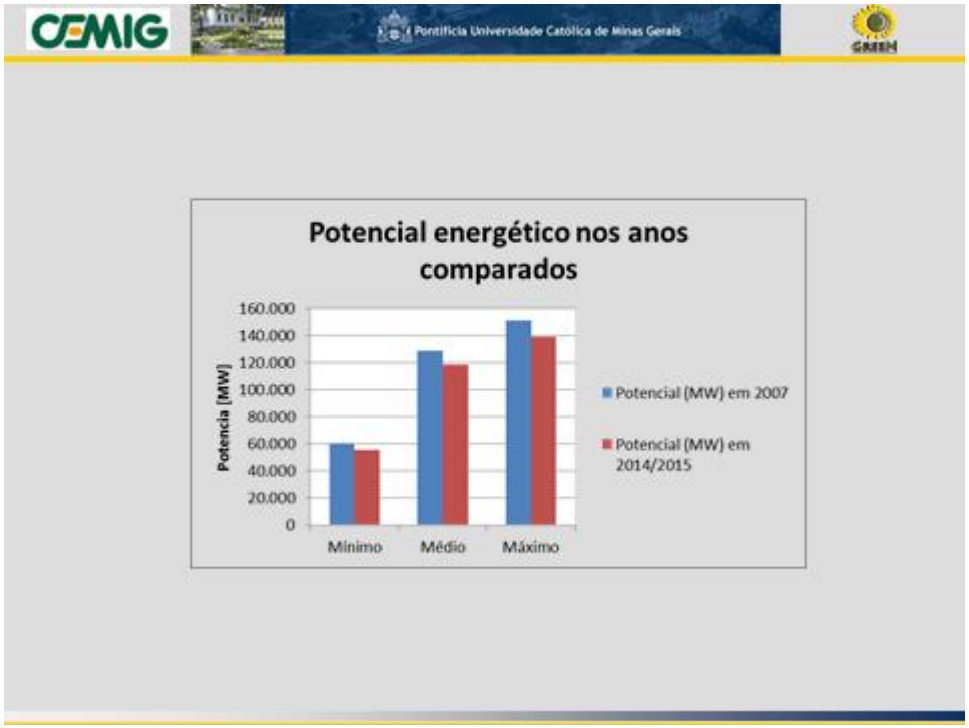
*mdc - metros cúbicos de carvão

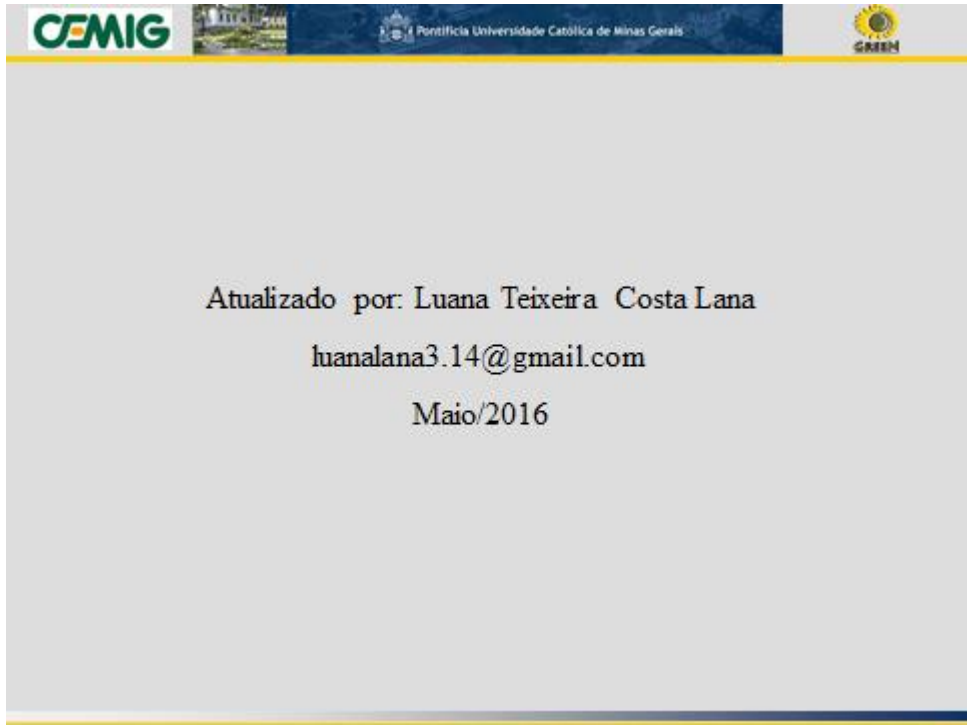
FONTE: AMS ANUÁRIO 2012.

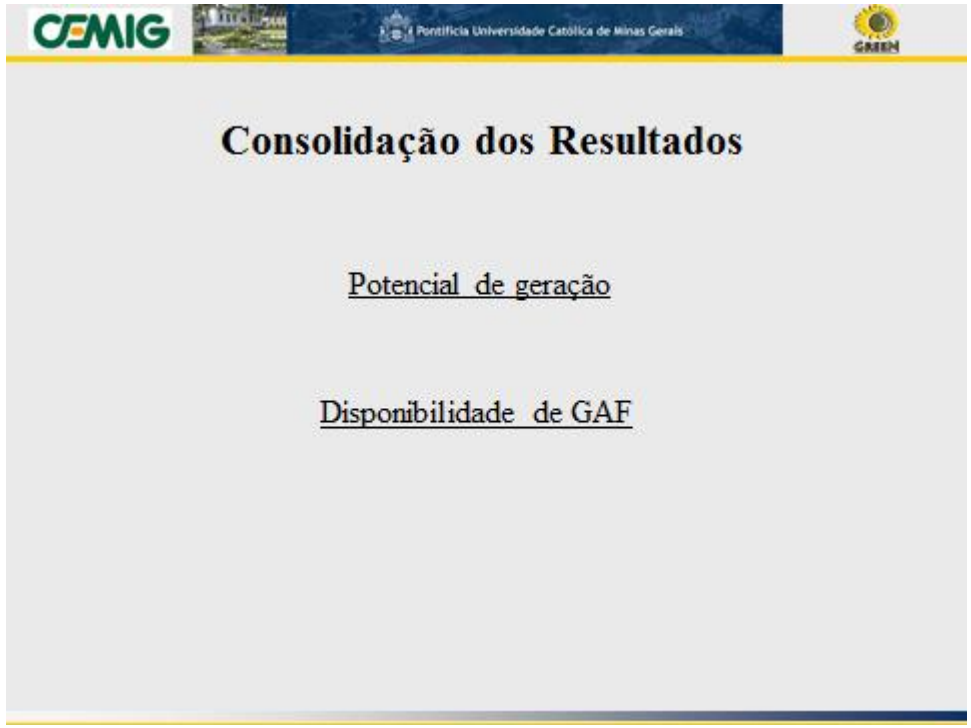

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Origem natural do carvão vegetal consumido em Minas Gerais
Em 1000 mdc
20000
18000
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
81,4%
78%
72,3%
65,5%
52,2%
59%
58%
55,2%
63,8%
72,3%
76,3%
82,6%
86,3%
18,6%
22%
27,5%
34,3%
47,8%
41,0%
42%
44,8%
36,2%
27,7%
23,7%
17,4%
13,7%
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
Anos
CARVÃO VEGETAL ORIGINÁRIO DE FLORESTAS PLANTADAS
CARVÃO VEGETAL ORIGINÁRIO DE RESÍDUOS NATIVOS

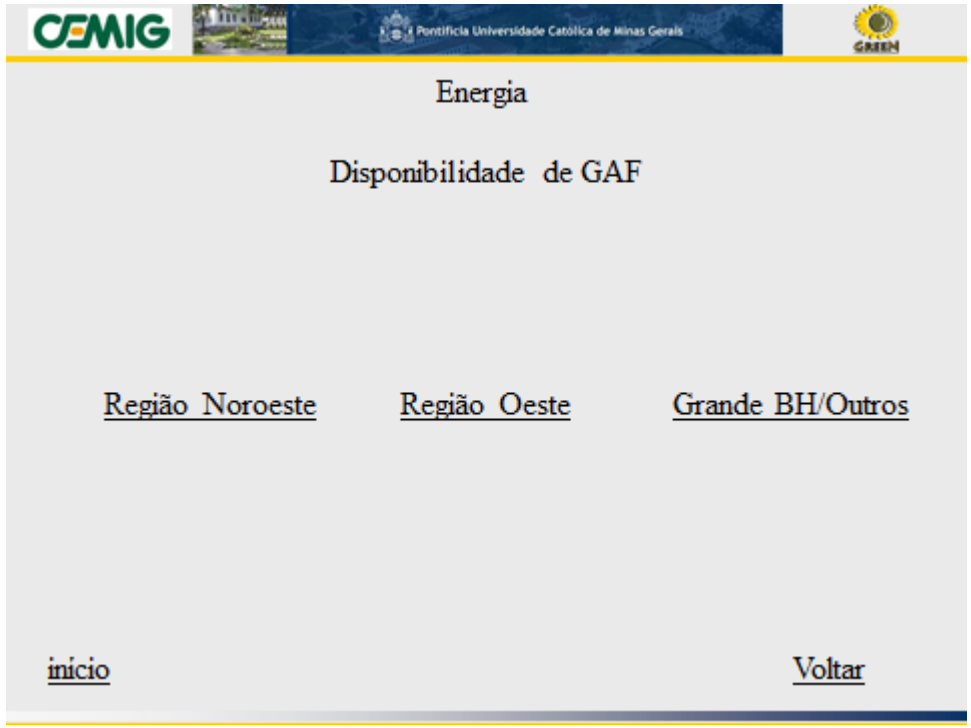
Comparações

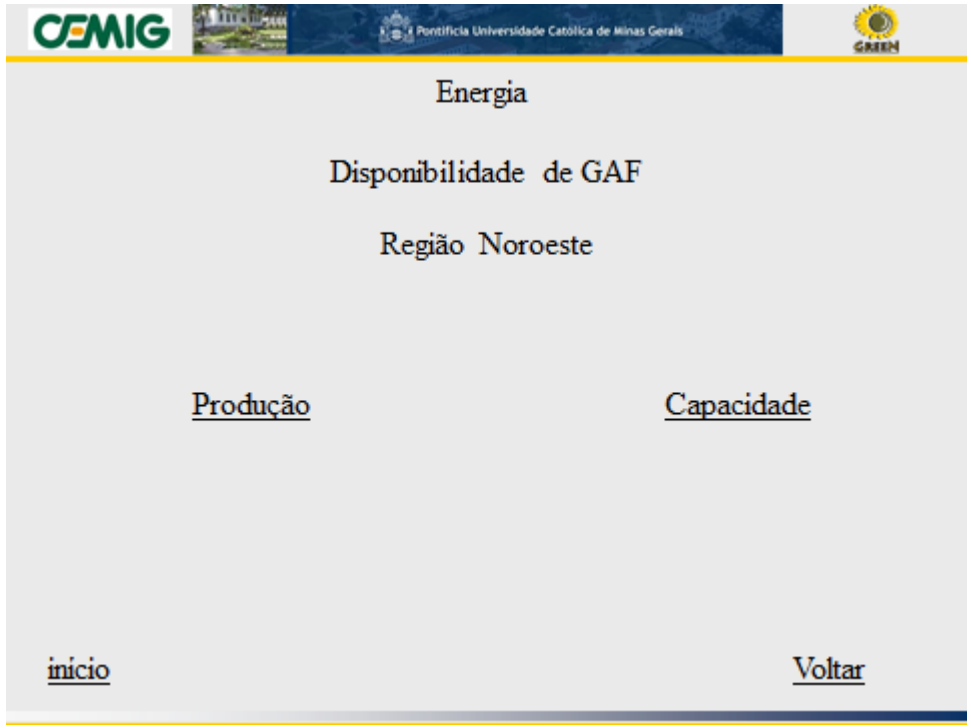
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Produção de gusa nos anos comparados
6000000,00
5000000,00
4000000,00
3000000,00
2000000,00
1000000,00
0,00
Toneladas
em 2007
em 2014/2015
Produção de Gusa

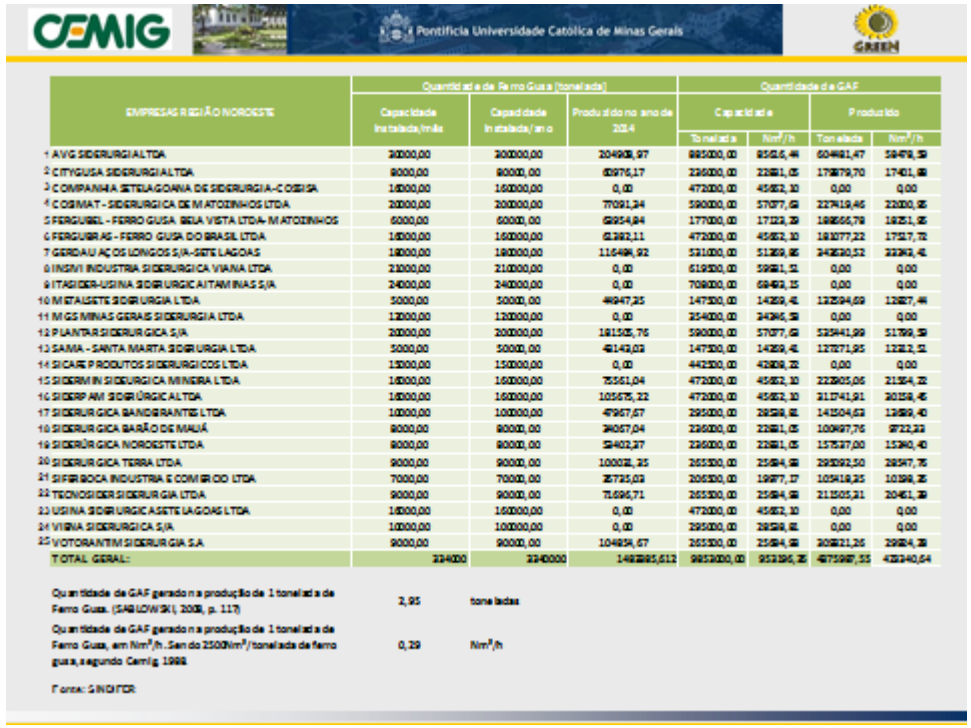

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Potencial energético nos anos comparados
160.000
140.000
120.000
100.000
80.000
60.000
40.000
20.000
0
Potencia [MW]
Mínimo
Médio
Máximo
Potencial (MW) em 2007
Potencial (MW) em 2014/2015


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Atualizado por: Luana Teixeira Costa Lana
luanalana3.14@gmail.com
Maio/2016


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Consolidação dos Resultados
Potencial de geração
Disponibilidade de GAF


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Energia
Disponibilidade de GAF
Região Noroeste
Região Oeste
Grande BH/Outros
início
Voltar

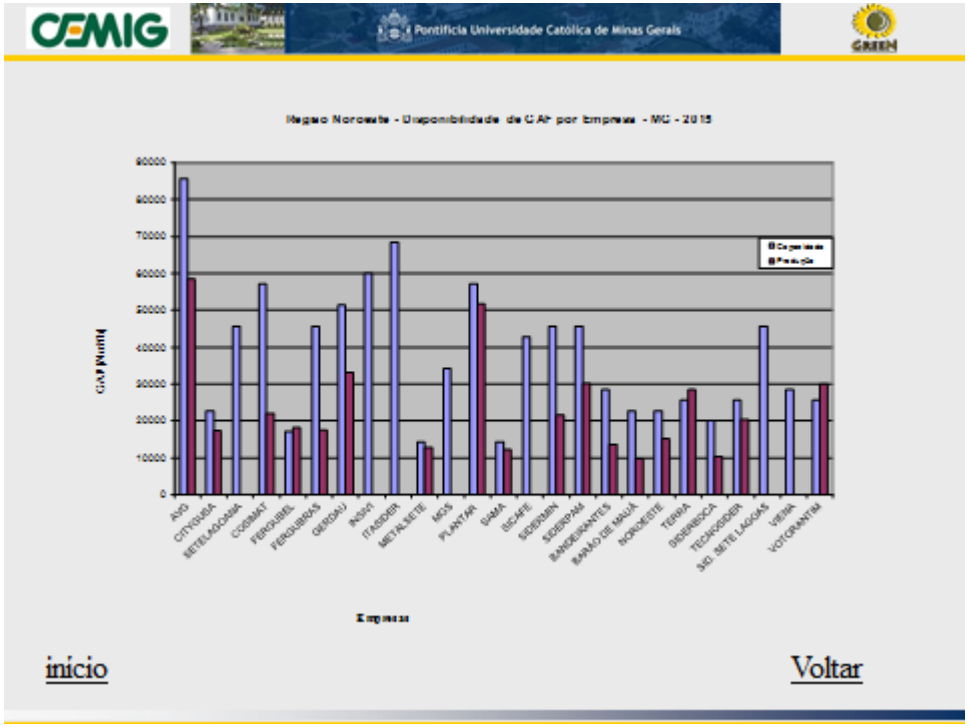

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Energia
Disponibilidade de GAF
Região Noroeste
Produção
Capacidade
início
Voltar

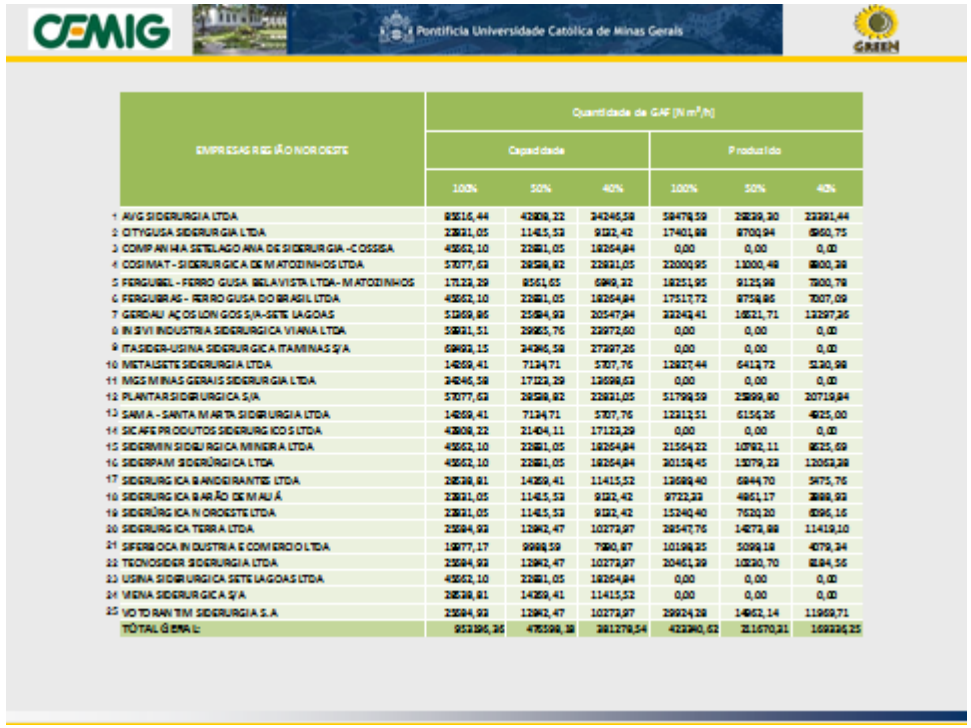


	EMPRESAS REGIÃO NOROESTE	Quantidade de Ferro Gusa (tonelada)			Quantidade de GAF			
		Capacidade Instalada/mês	Capacidade Instalada/ano	Produzido no ano de 2014	Capacidade		Produzido	
					Tonelada	Nm³/h	Tonelada	Nm³/h
1	AVG SIDERURGIA LTDA	20000,00	200000,00	204908,97	885000,00	85616,44	604481,47	58478,59
2	CITYGUSA SIDERURGIA LTDA	8000,00	80000,00	60976,17	236000,00	22831,05	179879,70	17401,68
3	COMPANHIA SETELAGOANA DE SIDERURGIA-COSSISA	16000,00	160000,00	0,00	472000,00	45662,10	0,00	0,00
4	COSIMAT - SIDERURGICA DE MATOZINHOS LTDA	20000,00	200000,00	77091,24	590000,00	57077,62	227419,46	22000,95
5	FERGUBEL - FERRO GUSA BELA VISTA LTDA- MATOZINHOS	6000,00	60000,00	59954,84	177000,00	17123,29	176866,78	17251,05
6	FERGUBRAG - FERRO GUSA DO BRASIL LTDA	16000,00	160000,00	61382,11	472000,00	45662,10	181077,22	17517,72
7	GERDAU AÇOS LONGOS S/A-SETE LAGOAS	18000,00	180000,00	116498,92	531000,00	51369,86	343830,52	33243,41
8	INGIVI INDUSTRIA SIDERURGICA VIANA LTDA	21000,00	210000,00	0,00	619500,00	59931,32	0,00	0,00
9	ITAGISDER-USINA SIDERURGICA ITAMINAS S/A	24000,00	240000,00	0,00	708000,00	68493,15	0,00	0,00
10	MITAISETE SIDERURGIA LTDA	5000,00	50000,00	49947,25	147500,00	14269,41	122594,69	12827,48
11	MGS MINAS GERAIS SIDERURGIA LTDA	12000,00	120000,00	0,00	354000,00	34246,58	0,00	0,00
12	PLANTAR SIDERURGICA S/A	20000,00	200000,00	181505,76	590000,00	57077,62	525441,99	51799,59
13	SAMA - SANTA MARTA SIDERURGIA LTDA	5000,00	50000,00	48143,03	147500,00	14269,41	127271,95	12312,51
14	SICASE PRODUTOS SIDERURGICOS LTDA	15000,00	150000,00	0,00	442500,00	42808,22	0,00	0,00
15	SIDERMIN SIDERURGICA MINEIRA LTDA	16000,00	160000,00	75561,04	472000,00	45662,10	222905,06	21564,22
16	SIDERPAM SIDERÚRGICA LTDA	16000,00	160000,00	105675,22	472000,00	45662,10	311741,91	30158,45
17	SIDERURGICA BANDEIRANTES LTDA	10000,00	100000,00	47967,67	295000,00	28538,81	141504,63	13693,40
18	SIDERURGICA BARÃO DE MAUÁ	8000,00	80000,00	34067,04	236000,00	22831,05	100497,76	9722,33
19	SIDERÚRGICA NORDESTE LTDA	8000,00	80000,00	53402,27	236000,00	22831,05	157537,00	15246,40
20	SIDERURGICA TERRA LTDA	9000,00	90000,00	100032,35	265500,00	25694,68	295092,50	28547,75
21	SIFERBOCA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	7000,00	70000,00	35735,03	206500,00	19977,17	105418,25	10198,35
22	TECNOSIDER SIDERURGIA LTDA	9000,00	90000,00	71696,71	265500,00	25694,68	211505,31	20461,39
23	USINA SIDERURGICA SETE LAGOAS LTDA	16000,00	160000,00	0,00	472000,00	45662,10	0,00	0,00
24	VIENA SIDERURGICA S/A	10000,00	100000,00	0,00	295000,00	28538,81	0,00	0,00
25	VOTORANTIM SIDERURGIA S.A	9000,00	90000,00	104854,67	265500,00	25694,68	309221,26	29924,38
	TOTAL GERAL:	334000	3340000	1492885,612	9853000,00	953196,25	4875987,55	472340,64

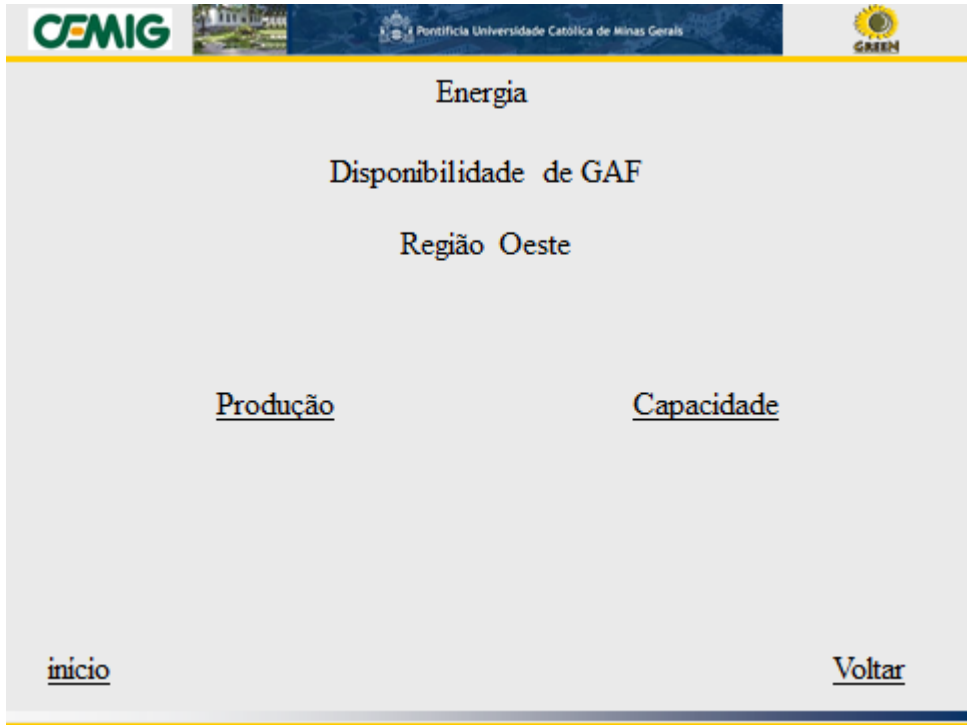
Quantidade de GAF gerado na produção de 1 tonelada de Ferro Gusa. (SABLOWSKI, 2008, p. 117)	2,95	toneladas
Quantidade de GAF gerado na produção de 1 tonelada de Ferro Gusa, em Nm³/h. Sendo 2500Nm³/tonelada de ferro gusa, segundo Cemig 1988	0,29	Nm³/h

Fonte: SINDITER


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Região Noroeste - Disponibilidade de GAP por Empresa - MG - 2015
GAP (Mmbl)
Empresas
AVG
CITYGUSA
SETELAGOAMA
COSMAT
FERGUBEL
FERGUBRAS
GERDAU
INSVI
ITASIDER
METALSETE
MGS
PLANTAR
SAMA
SICAFE
SIDERMIN
SIDERPAM
BANDEIRANTES
BARÃO DE MAUÁ
NOROESTE
TERRA
SIDERBOCA
TECNOSIDER
SIG. SETE LAGOAS
VIENA
VOTORANTIM
inicio
Voltar



	EMPRESAS REGIÃO NOROESTE	Quantidade de GAF [N m³/h]					
		Capacidade			Produzido		
		100%	50%	40%	100%	50%	40%
1	AVG SIDERURGIA LTDA	93516,44	42808,22	34246,58	58479,59	26299,20	22391,44
2	CITYGUSA SIDERURGIA LTDA	22831,05	11415,53	9132,42	17401,89	8700,94	6960,75
3	COMPANHIA SETELAGOANA DE SIDERURGIA -COSSISA	45662,10	22831,05	18264,84	0,00	0,00	0,00
4	COSIMAT - SIDERURGICA DE MATOZINHOS LTDA	57077,63	28538,82	22831,05	22000,95	11000,48	8800,38
5	FERGUBEL - FERRO GUSA BELAVISTA LTDA- MATOZINHOS	17123,29	8561,65	6849,32	16251,95	9121,98	7300,79
6	FERGUBRAG - FERRO GUSA DO BRASIL LTDA	45662,10	22831,05	18264,84	17517,72	8758,86	7007,09
7	GERDAU AÇOS LONGOS S/A-SETE LAGOAS	51369,86	25684,93	20547,94	32243,41	16121,71	12897,36
8	INSVI INDUSTRIA SIDERURGICA VIANA LTDA	59931,51	29965,76	23972,60	0,00	0,00	0,00
9	ITASIDER-USINA SIDERURGICA ITAMINAS S/A	68492,15	34246,58	27397,26	0,00	0,00	0,00
10	METALSETE SIDERURGIA LTDA	14269,41	7134,71	5707,76	12827,44	6413,72	5130,98
11	MGS MINAS GERAIS SIDERURGIA LTDA	34246,58	17123,29	13698,63	0,00	0,00	0,00
12	PLANTAR SIDERURGICA S/A	57077,63	28538,82	22831,05	51799,59	25899,80	20719,84
13	SAMA - SANTA MARTA SIDERURGIA LTDA	14269,41	7134,71	5707,76	12312,51	6156,26	4925,00
14	SICAFE PRODUTOS SIDERURGICOS LTDA	43808,22	21404,11	17123,29	0,00	0,00	0,00
15	SIDERMIN SIDERURGICA MINEIRA LTDA	45662,10	22831,05	18264,84	21564,22	10782,11	8625,69
16	SIDERPAM SIDERÚRGICA LTDA	45662,10	22831,05	18264,84	30158,45	15079,23	12063,38
17	SIDERURGICA BANDEIRANTES LTDA	28538,81	14269,41	11415,53	13689,40	6844,70	5475,76
18	SIDERURGICA BARÃO DE MAUÁ	22831,05	11415,53	9132,42	9722,33	4861,17	3888,93
19	SIDERÚRGICA NOROESTE LTDA	22831,05	11415,53	9132,42	15240,40	7620,20	6096,16
20	SIDERURGICA TERRA LTDA	25684,93	12842,47	10273,97	28547,76	14273,88	11419,10
21	SIFERBOCA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	19977,17	9988,59	7990,87	10198,25	5099,18	4079,34
22	TECNOSIDER SIDERURGIA LTDA	25684,93	12842,47	10273,97	20461,39	10230,70	8184,56
23	USINA SIDERURGICA SETE LAGOAS LTDA	45662,10	22831,05	18264,84	0,00	0,00	0,00
24	VIENA SIDERURGICA S/A	28538,81	14269,41	11415,53	0,00	0,00	0,00
25	VOTORANTIM SIDERURGIA S.A	25684,93	12842,47	10273,97	29924,29	14962,14	11969,71
	TOTAL GERAL:	953196,36	476598,18	381278,54	422340,62	211670,31	169336,25

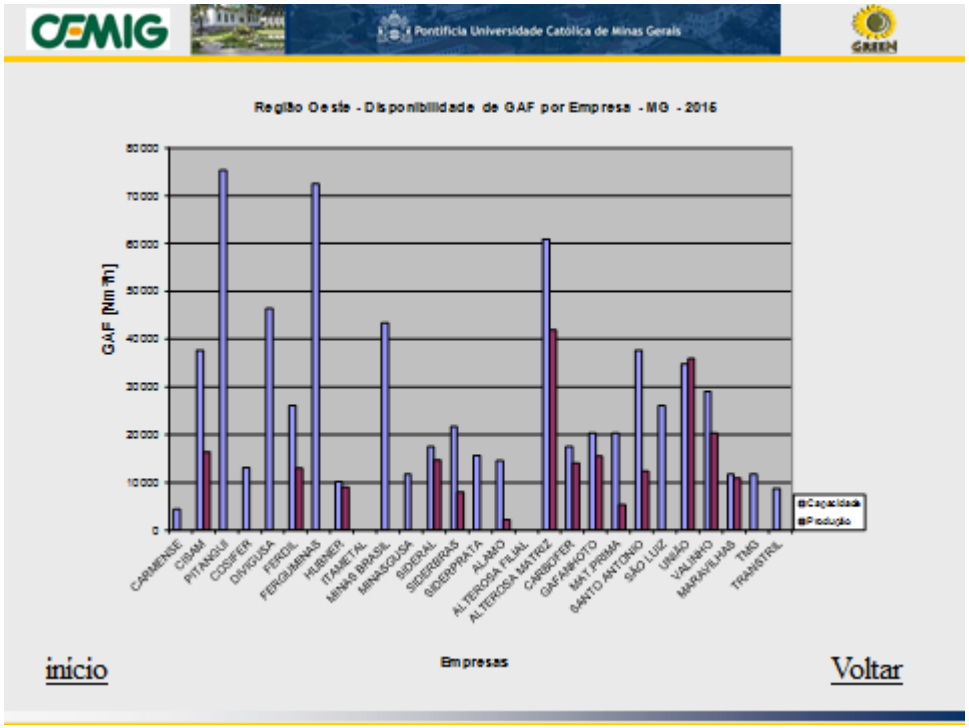

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Energia
Disponibilidade de GAF
Região Oeste
Produção
Capacidade
início
Voltar

	EMPRESA SIDERÚRGICA	Quantidade de Ferro Gusa (Tonelada)			Quantidade de GAF			
		Capacidade Instalada/mês	Capacidade Instalada/ano	Produção no ano de 2010	Capacidade		Produção	
					Tonelada	Nm³/h	Tonelada	Nm³/h
1	CARMINAS COMERCIAL LTDA	1800	18000	-	[illegible]	[illegible]	-	-
2	CISAM SIDERURGIA LTDA	12000	120000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
3	COMPANHIA SIDERURGICA PITANGUI	25000	250000	-	[illegible]	[illegible]	-	-
4	COSIPAR SIDERURGIA LTDA	4800	48000	-	[illegible]	[illegible]	-	-
5	DIVISA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	15000	150000	-	[illegible]	[illegible]	-	-
6	FERDIL PRODUTOS METALURGICOS LTDA (Divinópolis)	9000	90000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
7	FERGUMINAS SIDERURGIA LTDA	25000	250000	-	[illegible]	[illegible]	-	-
8	HUMBERTO SIDERURGICA - UNIDA DE MINAS GERAIS LTDA	3800	38000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
9	ITAMETAL SIDERURGIA LTDA	0	0	-	0	0	-	-
10	MINAS BRASIL SIDERURGIA LTDA	15000	150000	-	[illegible]	[illegible]	-	-
11	MINAS GUSA SIDERURGIA LTDA	4000	40000	-	[illegible]	[illegible]	-	-
12	SIDERAL SIDERURGIA LTDA	6000	60000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
13	SIDERGRAS- SIDERURGICA BRASILEIRA LTDA DIVINÓPOLIS	7800	78000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
14	SIDERPRATA -COMPANHIA SIDERURGICA LAGOA DA PRATA	6400	64000	-	[illegible]	[illegible]	-	-
15	SIDERURGICA ALAMO (UNID. I)	6000	60000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
16	SIDERURGICA ALTEROSA S/A - FILIAL	0	0	-	0	0	-	-
17	SIDERURGICA ALTEROSA S/A- MATRIZ	22000	220000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
18	SIDERÚRGICA CARBOFER LTDA	6000	60000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
19	SIDERURGICA GAFANHOTO LTDA	7000	70000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
20	SIDERURGICA MAT.PRIMA LTDA- UNID I DIVINOPOLIS	7000	70000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
21	SIDERURGICA SANTO ANTONIO LTDA	12000	120000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
22	SIDERURGICA SÃO LUIZ LTDA	9000	90000	-	[illegible]	[illegible]	-	-
23	SIDERURGICA UNIÃO S/A	12000	120000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
24	SIDERURGICA VALINHO S/A	10000	100000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
25	SIMAR- SIDERURGICA MARAVILHAS LTDA	4000	40000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
26	TMG SIDERURGIA LTDA	4000	40000	-	[illegible]	[illegible]	-	-
	TRANSTRIL COM. EXP. LTDA (CAJURU/M.G)	3000	30000	-	[illegible]	[illegible]	-	-
	TOTAL GERAL:	237100	2371000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

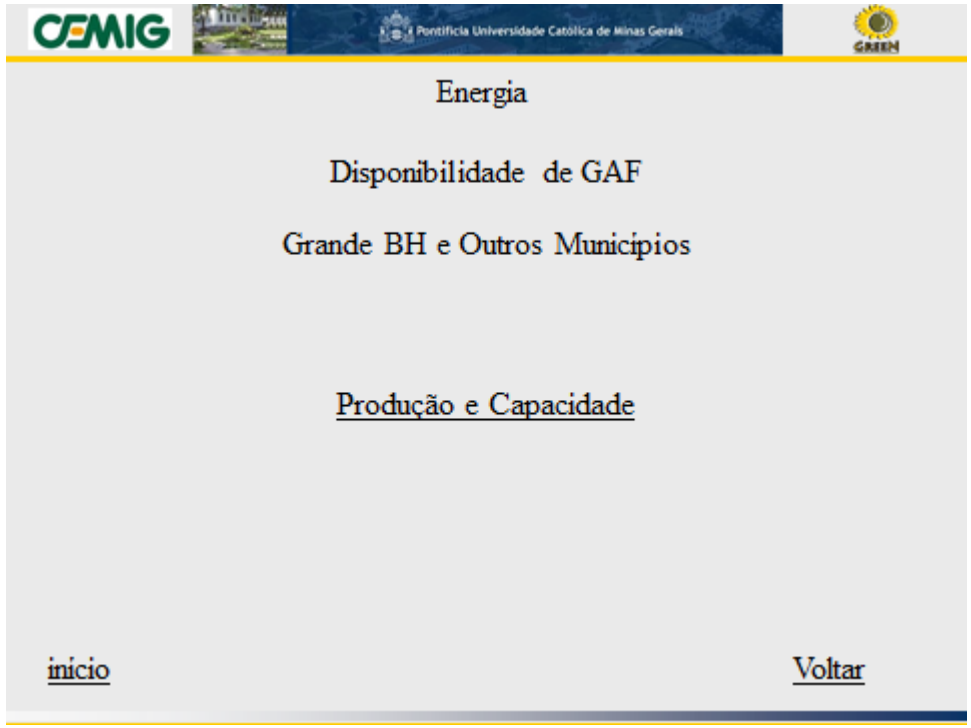
Quantidade de GAF gerado na produção de 1 tonelada de Ferro Gusa. (GADLOWSKI, 2006, p. 117) 2,85 toneladas

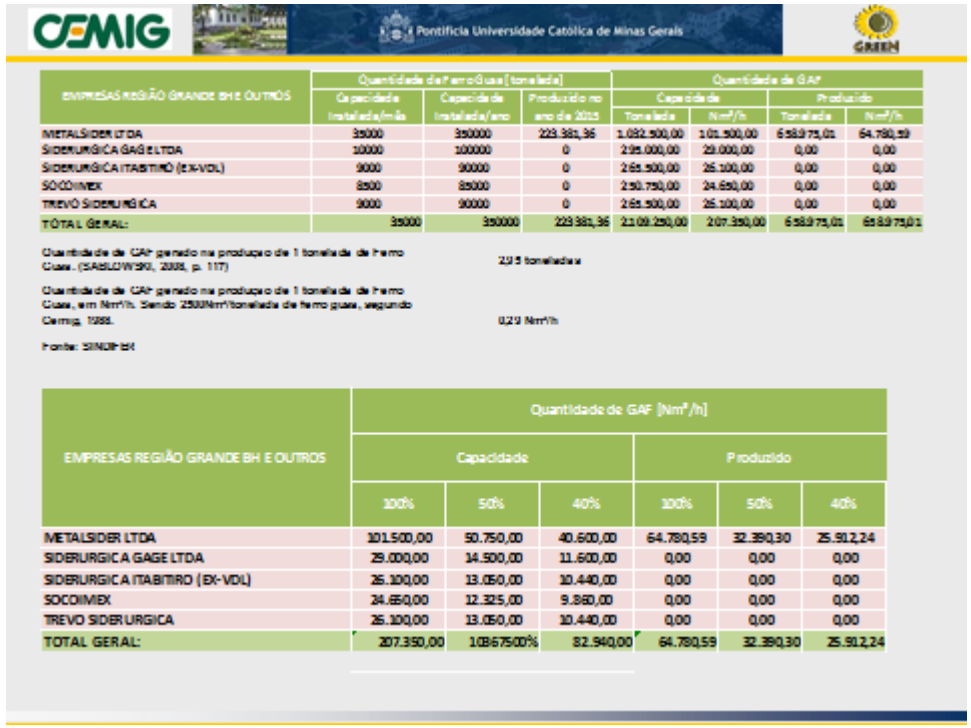
Quantidade de GAF gerado na produção de 1 tonelada de Ferro Gusa, em Nm³/h. Sendo 2200Nm³/tonelada de ferro gusa, segundo Cemig, 1990. 0,29 Nm³/h

Fonte: SINDIFER


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Região Oeste - Disponibilidade de GAF por Empresa - MG - 2016
GAF [Nm³/h]
80 000
70 000
60 000
50 000
40 000
30 000
20 000
10 000
0
Capacidade
Produção
CARMENSE
CIBAM
PITANGUI
COSIFER
DIVIGUSA
FERDIL
FERGUMINAS
HUBNER
ITAMETAL
MINAS BRASIL
MINASGUSA
SIDERAL
SIDERBRAS
SIDERPRATA
ALAMO
ALTEROSA FILIAL
ALTEROSA MATRIZ
CARBOFER
GAFANHOTO
MATPRIMA
SANTO ANTONIO
SÃO LUIZ
UNIÃO
VALINHO
MARAVILHAS
TMG
TRANSTEL
Empresas
início
Voltar

	EMPRESAS REGIÃO OESTE	Quantidade de GAF [Nm³/h]					
		Capacidade			Produzido		
		100%	50%	40%	100%	50%	40%
1	CARMENSE COMERCIAL LTDA	4350,00	2175	1740	-	-	-
2	CISAM SIDERURGIA LTDA	37700,00	18850	15080	16427,0567	8213,52835	6570,82
3	COMPANHIA SIDERURGICA PITANGUI	75400,00	37700	30160	-	-	-
4	COSIFER SIDERURGIA LTDA	13050,00	6525	5220	-	-	-
5	DIVIGUSA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	46400,00	23200	18560	-	-	-
6	FERDIL PRODUTOS METALURGICOS LTDA (Divinópolis)	26100,00	13050	10440	12919,587	6459,7935	5167,83
7	FERGUMINAS SIDERURGIA LTDA	72500,00	36250	29000	-	-	-
8	HUBNER SIDERURGIA - UNIDADE MINAS GERAIS LTDA	10150,00	5075	4060	8990,6206	4495,3103	3596,25
9	ITAMETAL SIDERURGIA LTDA	0,00	0	0	-	-	-
10	MINAS BRASIL SIDERURGIA LTDA	43500,00	21750	17400	-	-	-
11	MINAS GUSA SIDERURGIA LTDA	11600,00	5800	4640	-	-	-
12	SIDERAL SIDERURGIA LTDA	17400,00	8700	6960	14691,2666	7345,6333	5876,51
13	SIDERBRAS - SIDERURGICA BRASILEIRA LTDA DIVINÓPOLIS	21750,00	10875	8700	7876,8379	3938,41895	3150,74
14	SIDERPRATA - COMPANHIA SIDERURGICA LAGOA DA PRATA	15660,00	7830	6264	-	-	-
15	SIDERURGICA ALAMO (UNID. I)	14500,00	7250	5800	2195,7524	1097,8762	878,30
16	SIDERURGICA ALTEROSA S/A - FILIAL	0,00	0	0	-	-	-
17	SIDERURGICA ALTEROSA S/A - MATRIZ	60900,00	30450	24360	41953,9926	20976,9963	16781,60
18	SIDERÚRGICA CARBOFER LTDA	17400,00	8700	6960	14017,9736	7008,9868	5607,19
19	SIDERURGICA GAFANHOTO LTDA	20300,00	10150	8120	15402,1059	7701,05295	6160,84
20	SIDERURGICA MAT. PRIMA LTDA - UNID I DIVINOPOLIS	20300,00	10150	8120	5219,1445	2609,57225	2087,66
21	SIDERURGICA SANTO ANTONIO LTDA	37700,00	18850	15080	12275,0504	6137,5252	4910,02
22	SIDERURGICA SÃO LUIZ LTDA	26100,00	13050	10440	-	-	-
23	SIDERURGICA UNIÃO S/A	34800,00	17400	13920	35976,9824	17988,4912	14390,79
24	SIDERURGICA VALINHO S/A	29000,00	14500	11600	20260,4296	10130,2148	8104,25
25	SIMAR - SIDERURGICA MARAVILHAS LTDA	11600,00	5800	4640	10894,1197	5447,05985	4357,65
26	TMG SIDERURGIA LTDA	11600,00	5800	4640	-	-	-
	TRANSTRIL COM. EXP. LTDA (CAJURU/M.GERAIS)	8700,00	4350	3480	-	-	-
	TOTAL GERAL:	688480	344240	275392	218101,1219	109050,561	87240,4487


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Energia
Disponibilidade de GAF
Grande BH e Outros Municípios
Produção e Capacidade
início
Voltar



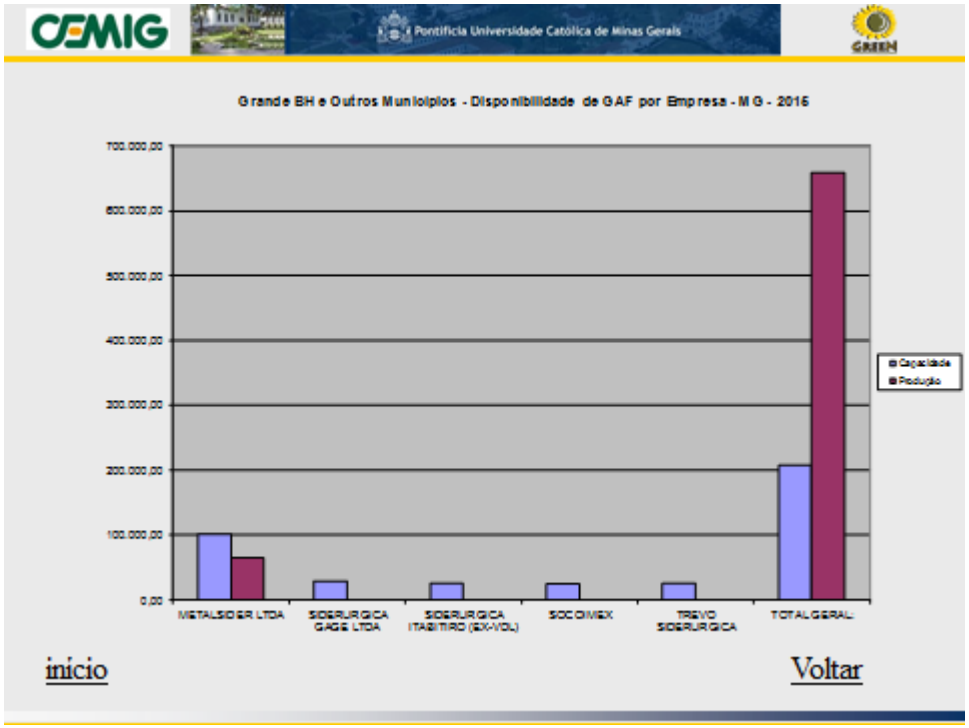
EMPRESAS REGIÃO GRANDE BH E OUTROS	Quantidade de Ferro Gusa (tonelada)			Quantidade de GAF			
	Capacidade instalada/mês	Capacidade instalada/ano	Produzido no ano de 2015	Capacidade		Produzido	
				Tonelada	Nm³/h	Tonelada	Nm³/h
METALSIDER LTDA	35000	350000	229.381,36	1.032.500,00	101.500,00	658.975,01	64.780,59
SIDERURGICA GAGE LTDA	10000	100000	0	295.000,00	29.000,00	0,00	0,00
SIDERURGICA ITABITIRÓ (EX-VDL)	9000	90000	0	265.500,00	26.100,00	0,00	0,00
SOCOIMEX	8500	85000	0	250.750,00	24.650,00	0,00	0,00
TREVO SIDERURGICA	9000	90000	0	265.500,00	26.100,00	0,00	0,00
TOTAL GERAL:	35000	350000	229.381,36	2.109.250,00	207.350,00	658.975,01	658.975,01

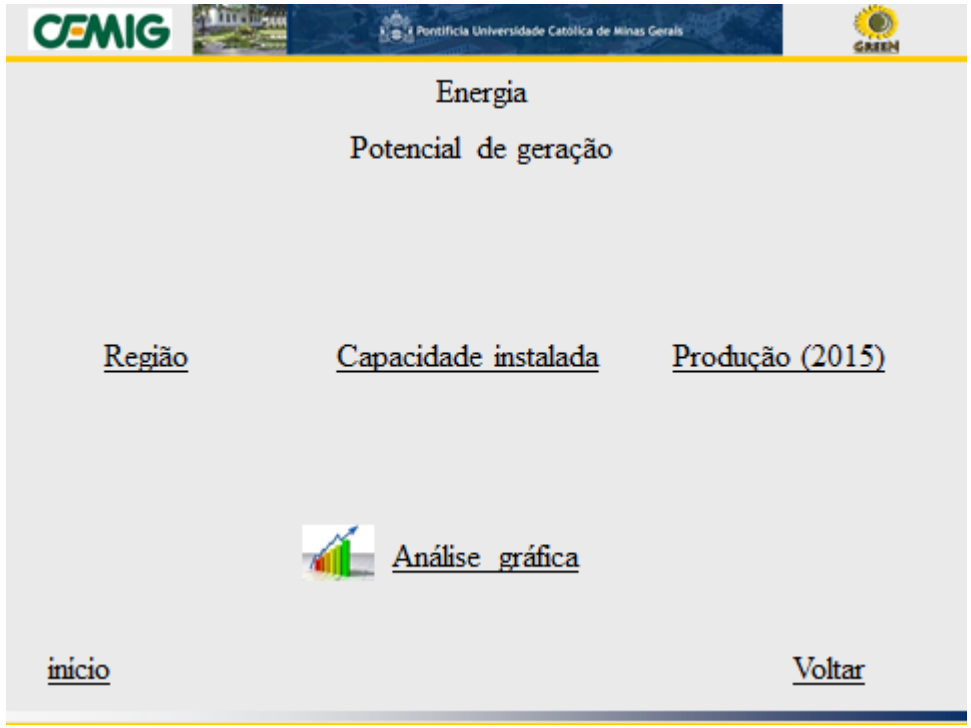
Quantidade de GAF gerado na produção de 1 tonelada de ferro Gusa. (SABLOWSKI, 2008, p. 117) — 295 toneladas

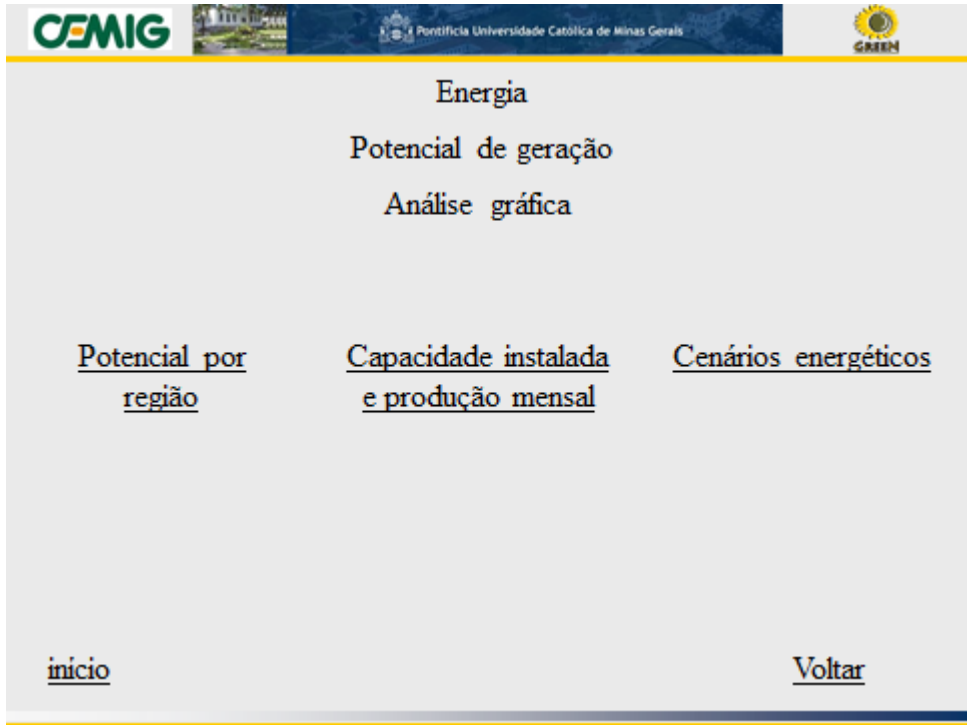
Quantidade de GAF gerado na produção de 1 tonelada de ferro Gusa, em Nm³/h. Sendo 2500Nm³/tonelada de ferro gusa, segundo Cemig, 1988. — 0,29 Nm³/h

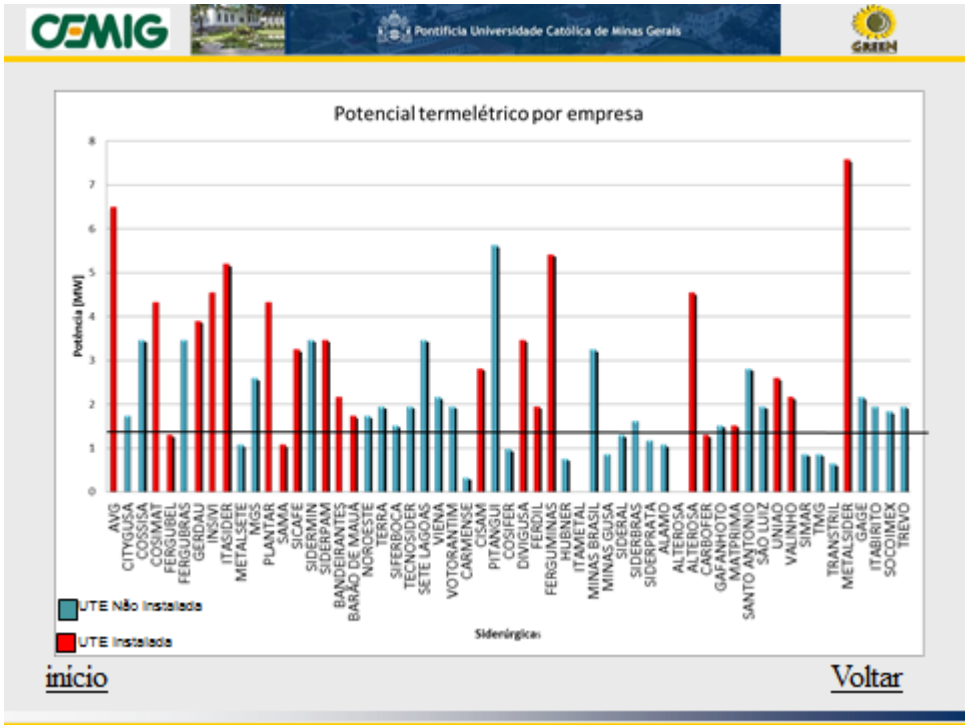
Fonte: SINDIFER

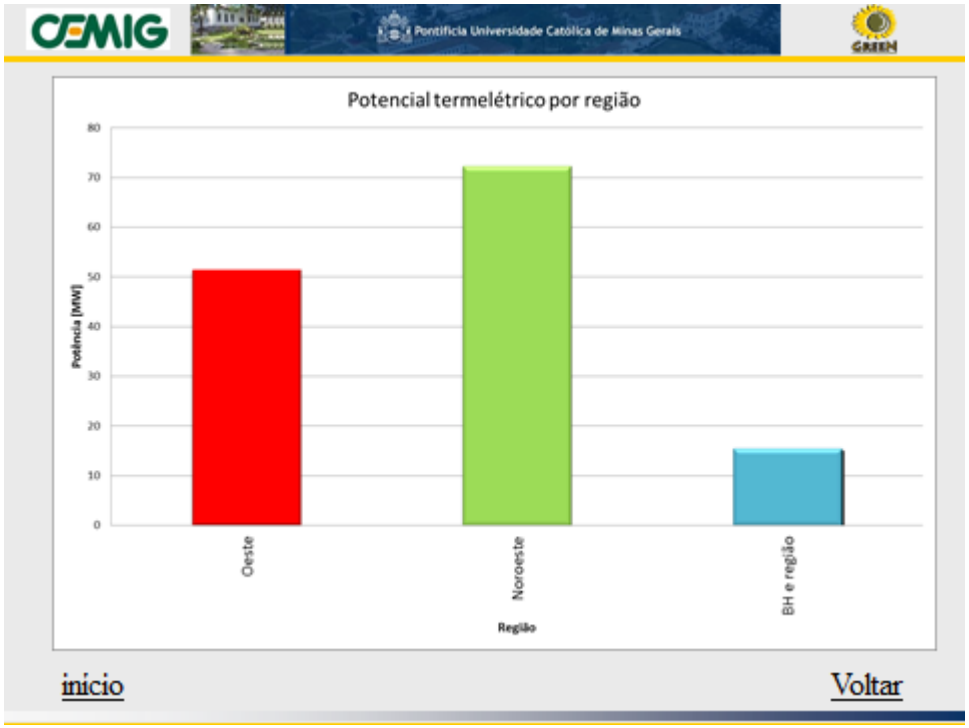
EMPRESAS REGIÃO GRANDE BH E OUTROS	Quantidade de GAF (Nm³/h)					
	Capacidade			Produzido		
	100%	50%	40%	100%	50%	40%
METALSIDER LTDA	101.500,00	50.750,00	40.600,00	64.780,59	32.390,30	25.912,24
SIDERURGICA GAGE LTDA	29.000,00	14.500,00	11.600,00	0,00	0,00	0,00
SIDERURGICA ITABITIRO (EX-VDL)	26.100,00	13.050,00	10.440,00	0,00	0,00	0,00
SOCOIMEX	24.650,00	12.325,00	9.860,00	0,00	0,00	0,00
TREVO SIDERURGICA	26.100,00	13.050,00	10.440,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL GERAL:	207.350,00	103675,00%	82.940,00	64.780,59	32.390,30	25.912,24

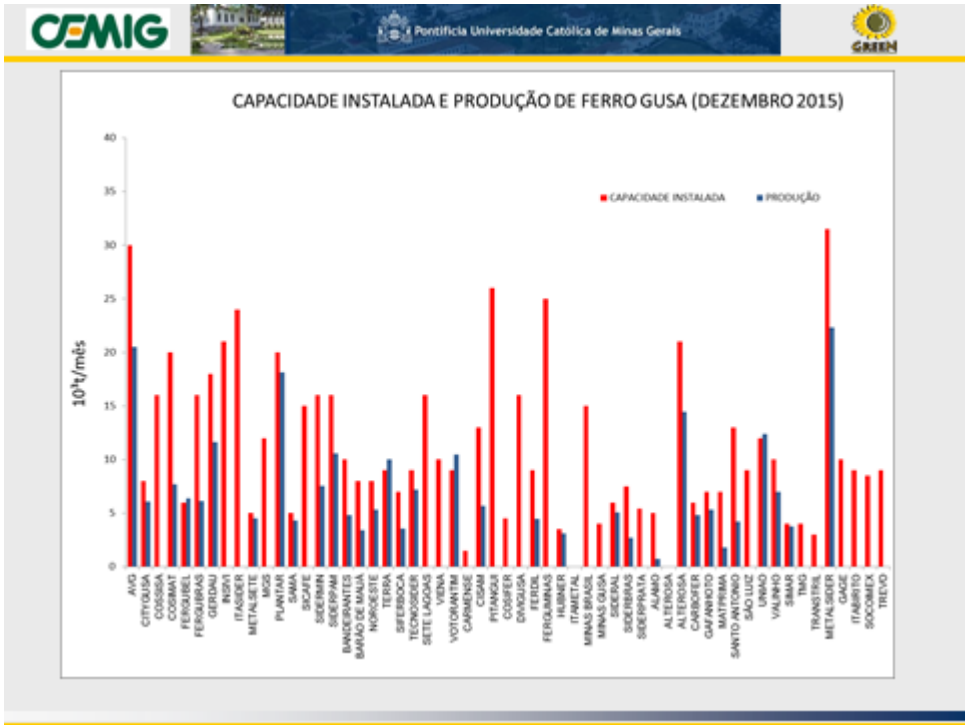

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Grande BH e Outros Municípios - Disponibilidade de GAF por Empresa - MG - 2016
700.000,00
600.000,00
500.000,00
400.000,00
300.000,00
200.000,00
100.000,00
0,00
METALSIDER LTDA
SIDERURGICA GAGE LTDA
SIDERURGICA ITABIRITO (EX-VOL)
SOCOIMEX
TREVO SIDERURGICA
TOTAL GERAL
Capacidade
Produção
início
Voltar

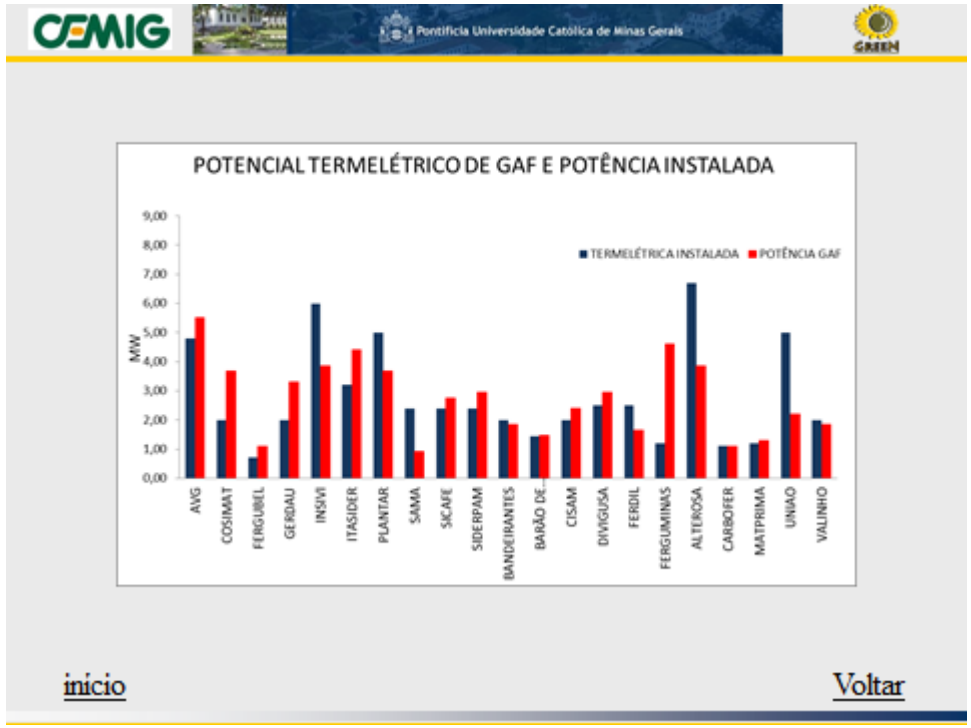

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Energia
Potencial de geração
Região
Capacidade instalada
Produção (2015)
Análise gráfica
início
Voltar

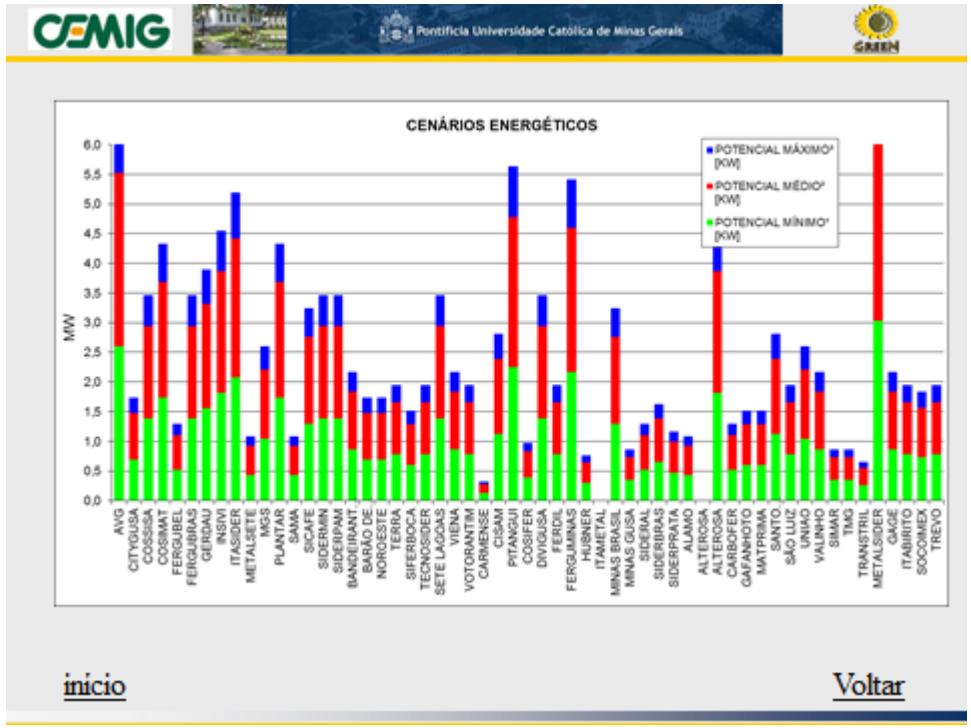

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Energia
Potencial de geração
Análise gráfica
Potencial por região
Capacidade instalada e produção mensal
Cenários energéticos
início
Voltar

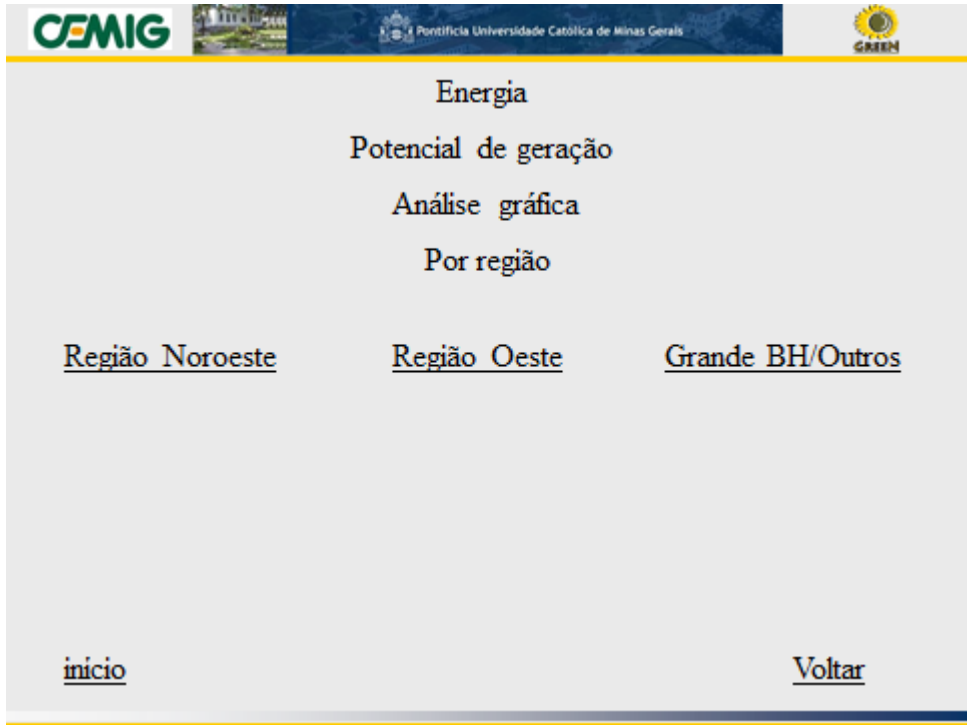

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Potencial termelétrico por empresa
Potência [MW]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
AVG
CITYGUSA
COSSISA
COSIMAT
FERGUBEL
FERGUBRAS
GERDAU
INSIVI
ITASIDER
METALSETE
MGS
PLANTAR
SAMA
SICAFE
SIDERMIN
SIDERPAM
BANDEIRANTES
BARÃO DE MAUÁ
NORCESTE
TERRA
SIFERBOCA
TECNOSIDER
SETE LAGOAS
VIENA
VOTORANTIM
CARMENSE
CISAM
PITANGUI
COSIFER
DIVIGUSA
FERDIL
FERGUMINAS
HUBNER
ITAMETAL
MINAS BRASIL
MINAS GUSA
SIDERAL
SIDERBRAS
SIDERPRATA
ALAMO
ALTEROSA
ALTEROSA
CARBOFER
GAFANHOTO
MATIPUMA
SANTO ANTONIO
SÃO LUIZ
UNIÃO
VALINHO
SIMAR
TMG
TRANSTRIL
METALSIDER
GAGE
ITABIRITO
SOCOIMEX
TREVO
UTE Não Instalada
UTE Instalada
Siderúrgicas
início
Voltar

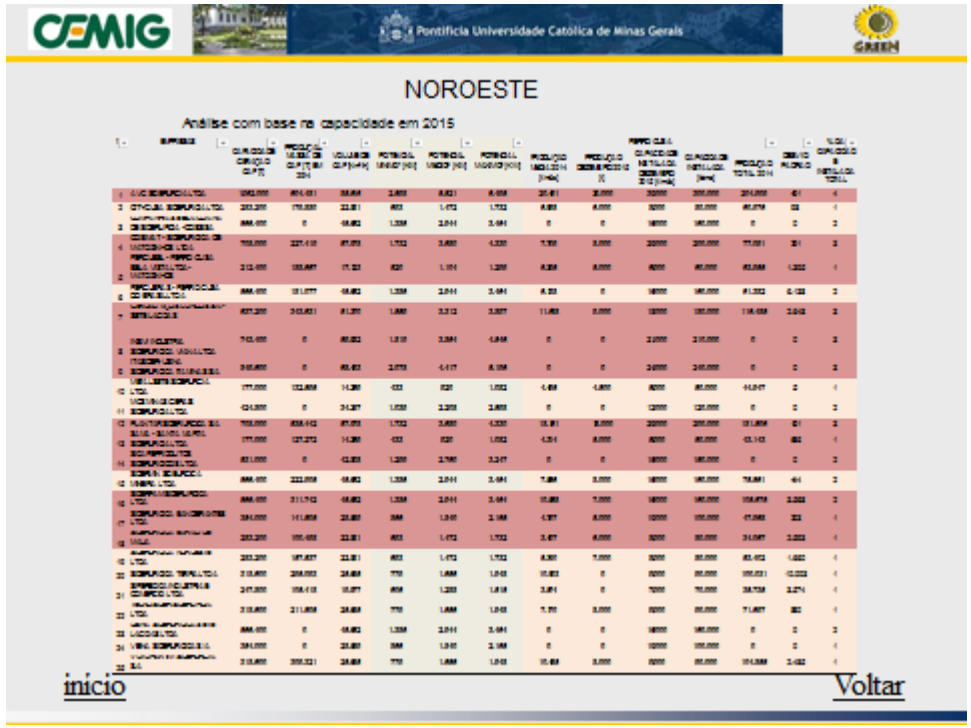

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Potencial termelétrico por região
Potência (MW)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Oeste
Noroeste
BH e região
Região
início
Voltar

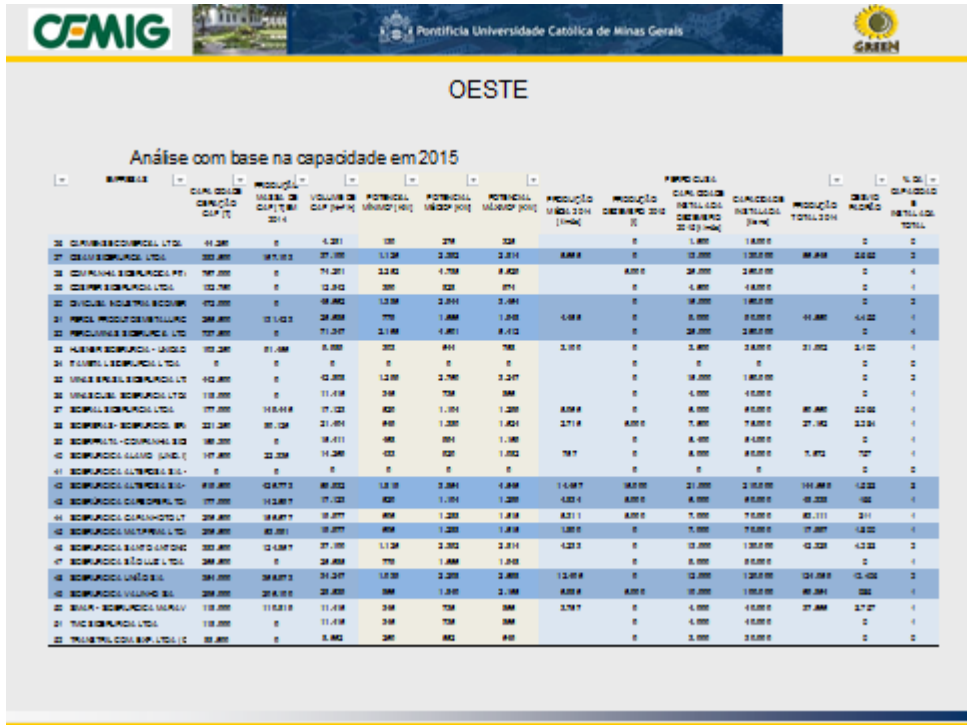

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
CAPACIDADE INSTALADA E PRODUÇÃO DE FERRO GUSA (DEZEMBRO 2015)
10³t/mês
CAPACIDADE INSTALADA
PRODUÇÃO
0
5
10
15
20
25
30
35
40
AVG
CITYGUSA
COSSISA
COSIMAT
FERGUBEL
FERGUBRAS
GERDAU
INGVI
ITASIDER
METALSETE
MGS
PLANTAR
SAMA
SICAFE
SIDERMIN
SIDERPAR
BANDEIRANTES
BARAO DE MAUA
NORDESTE
TERRA
SIFERBOCA
TECNOSIDER
SETE LAGOAS
VIENA
VOTORANTIM
CARMENSE
CIGAM
PITANGUI
COSIFER
GIVAGUSA
FERDIL
FERGUMINAS
HUBNER
ITAMETAL
MINAS BRASIL
MINAS GUSA
SIDERAL
SIDERBRAS
SIDERPRATA
ALIANO
ALTEROSA
ALTEROSA
CARBOFER
GAIANHOTO
MATPRIMA
SANTO ANTONIO
SAO LUIZ
UNIAO
VALINHO
SIMAR
TMG
TRANSTRA
METALSIDER
GAGE
ITABIRITO
SOCOMEX
TREVO

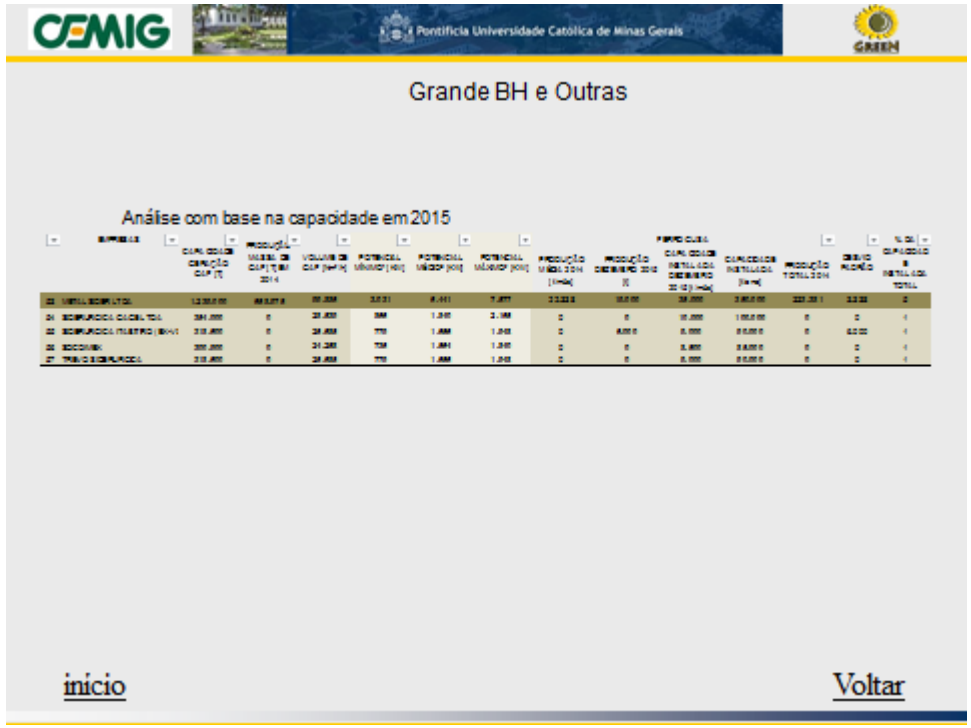

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
POTENCIAL TERMELÉTRICO DE GAF E POTÊNCIA INSTALADA
TERMELÉTRICA INSTALADA
POTÊNCIA GAF
MW
9,00
8,00
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
AVG
COSIMAT
FERGUBEL
GERDAU
INSIVI
ITASIDER
PLANTAR
SAMA
SICAFE
SIDERPAM
BANDEIRANTES
BARÃO DE...
CISAM
DIVIGUSA
FERDIL
FERGUMINAS
ALTEROSA
CARBOFER
MATPRIMA
UNIAO
VALINHO
início
Voltar

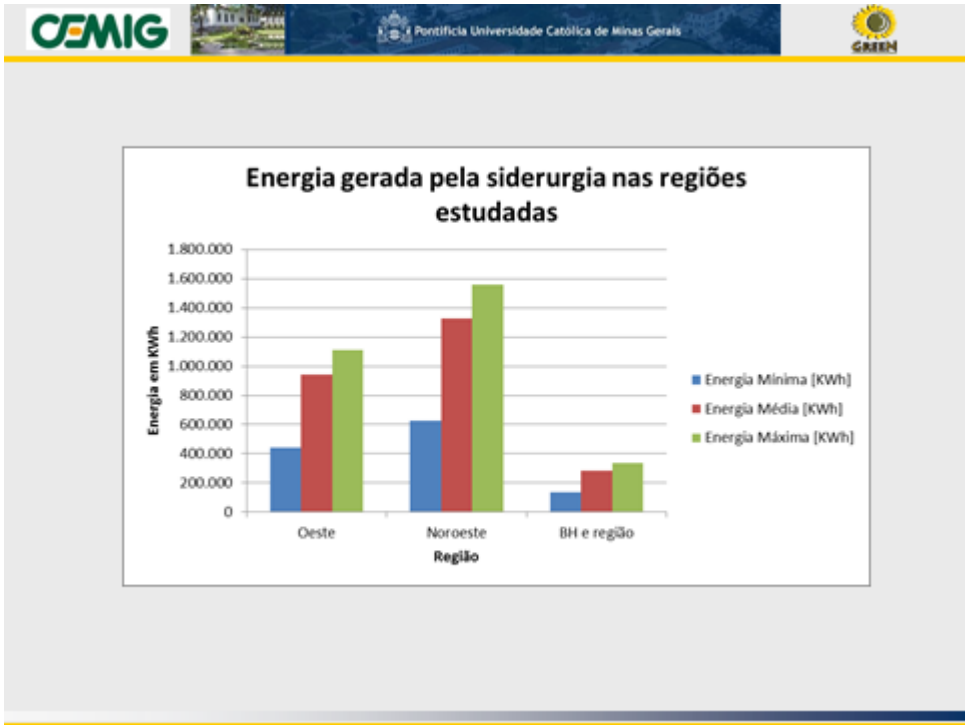

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
CENÁRIOS ENERGÉTICOS
POTENCIAL MÁXIMO* [KW]
POTENCIAL MÉDIO* [KW]
POTENCIAL MÍNIMO* [KW]
MW
6,0
5,5
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
AVG
CITYGUSA
COSSIGA
COSIMAT
FERGUBEL
FERGUBRAS
GERDAU
INSITU
ITASIDER
METALSETE
MGS
PLANTAR
SAMA
SICAFE
SIDERMIN
SIDERPAM
BANDEIRANT
BARÃO DE
NOROESTE
TERRA
SIFERBOCA
TECNOSIDER
SETE LAGOAS
VIENA
VOTORANTIM
CARMENSE
CBAM
PITANGUI
COSIFER
DIVIGUSA
FERDIL
FERGUMINAS
HUBNER
ITAMETAL
MINAS BRASIL
MINAS GUSA
SIDERAL
SIDERBRAS
SIDERPRATA
ALAMO
ALTEROSA
ALTEROSA
CARBOFER
GAFANHOTO
MATPRIMA
SANTO
SÃO LUIZ
UNIÃO
VALINHO
SIMAR
TMG
TRANSTRIL
METALSIDER
GAGE
ITABIRITO
SOCORMEX
TREVO
início
Voltar

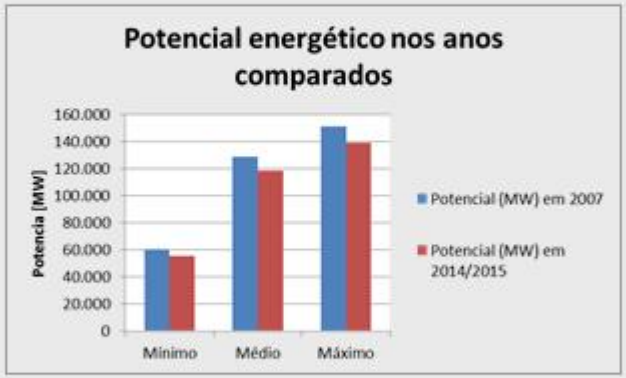

CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Energia
Potencial de geração
Análise gráfica
Por região
Região Noroeste
Região Oeste
Grande BH/Outros
início
Voltar

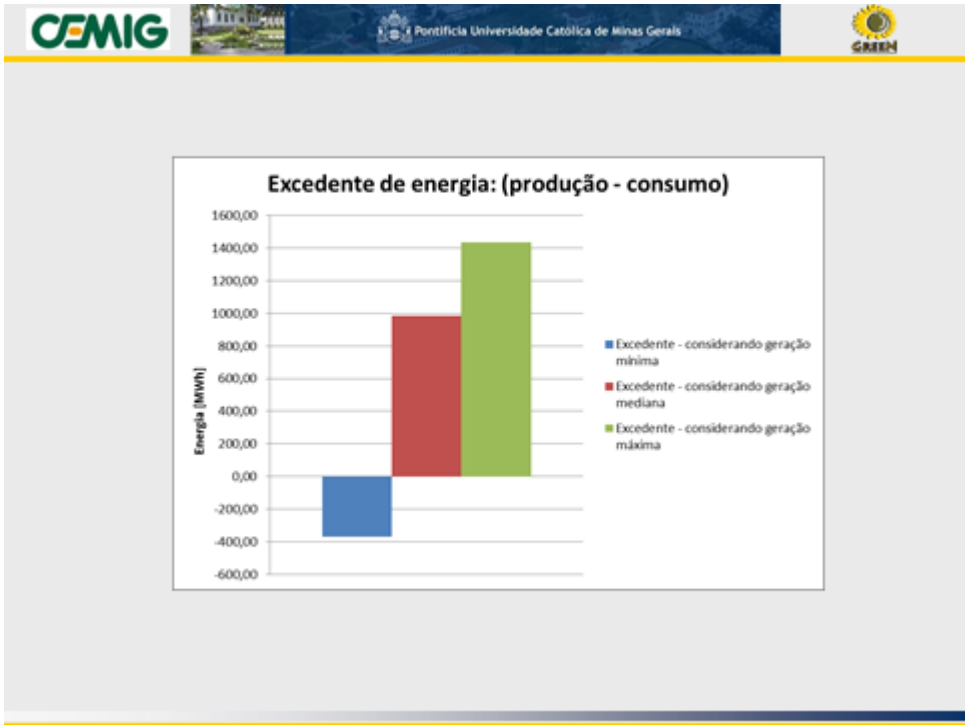

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
NOROESTE
Análise com base na capacidade em 2015
início
Voltar

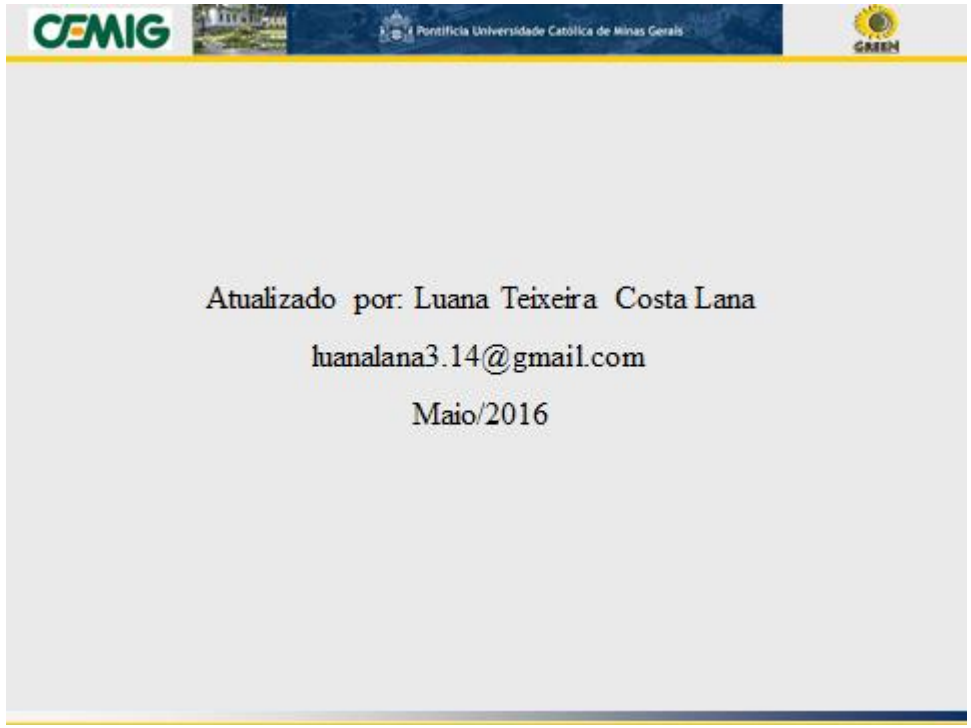

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
OESTE
Análise com base na capacidade em 2015


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Grande BH e Outras
Análise com base na capacidade em 2015
início
Voltar


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Energia gerada pela siderurgia nas regiões estudadas
1.800.000
1.600.000
1.400.000
1.200.000
1.000.000
800.000
600.000
400.000
200.000
0
Energia em KWh
Oeste
Noroeste
BH e região
Região
Energia Mínima [KWh]
Energia Média [KWh]
Energia Máxima [KWh]


Potencial energético nos anos comparados
160.000
140.000
120.000
100.000
80.000
60.000
40.000
20.000
0
Potencia [MW]
Mínimo
Médio
Máximo
Potencial (MW) em 2007
Potencial (MW) em 2014/2015


Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Excedente de energia: (produção - consumo)
1600,00
1400,00
1200,00
1000,00
800,00
600,00
400,00
200,00
0,00
-200,00
-400,00
-600,00
Energia [MWh]
Excedente - considerando geração mínima
Excedente - considerando geração mediana
Excedente - considerando geração máxima


CEMIG
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
GREEN
Atualizado por: Luana Teixeira Costa Lana
luanalana3.14@gmail.com
Maio/2016

PUC Minas
CEMIG
POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS FLORESTAIS DE MINAS GERAIS
Coordenador: Dr. Claudio Homero Ferreira Silva
Nome: Heitor Sullivan Gonçalves Aguiar

Oque são os resíduos Florestais?

Área plantada de Minas Gerais
Segundo IBGE a área planta da eucalipto em Minas Gerais gira em torno de 1,8 milhões de hectares isso equivale a 25% da área total plantada do Brasil que é entorno de 7 milhões de hectares.

Escolha das amostras

Municípios	Área plantada (ha) - 2014	Área plantada em 1 ano	Numero de Árvores por hectares
Águas Vermelhas	8.897,00	1.271,00	1.569.685,00
Bocaiúva	6.749,00	964,14	1.190.716,43
Brasilândia de Minas	35.000,00	5.000,00	6.175.000,00
Buritizeiro	28.500,00	4.071,43	5.028.214,29
Capelinha	21.000,00	3.000,00	3.705.000,00
Carbonita	33.000,00	4.714,29	5.822.142,86
Corinto	5.536,00	790,86	976.708,57
Curvelo	30.684,00	4.383,43	5.413.534,29
Estrela do Sul	39.340,00	5.620,00	6.940.700,00
Felixlândia	22.947,00	3.278,14	4.048.506,43
Francisco Sá	4.953,00	707,57	873.850,71
Grão Mogol	10.700,00	1.528,57	1.887.785,71
Ibiraci	7.200,00	1.028,57	1.270.285,71
Itaçambira	9.500,00	1.357,14	1.676.071,43
Itamarandiba	**52.000,00**	7.428,57	9.174.285,71
João Pinheiro	133.000,00	19.000,00	23.465.000,00
Lagoa Grande	12.200,00	1.742,86	2.152.428,57
Lassance	29.000,00	4.142,86	5.116.428,57
Minas Novas	24.000,00	3.428,57	4.234.285,71
Morada Nova de Minas	25.000,00	3.571,43	4.410.714,29
Naruque	10.300,00	1.471,43	1.817.214,29
Olhos-d'Água	19.600,00	2.800,00	3.458.000,00
Padre Carvalho	10.000,00	1.428,57	1.764.285,71
Rio Pardo de Minas	12.793,00	1.827,57	2.257.050,71
Romaria	37.200,00	5.314,29	6.563.142,86
Sacramento	18.528,00	2.646,86	3.268.868,57
Três Marias	33.210,00	4.744,29	5.859.192,86
Turmalina	14.005,00	2.000,71	2.470.882,14
Uberlândia	21.540,00	3.077,14	3.800.271,43
Somatório	**716.382,00**	**102.340,29**	**126.390.252,86**

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Estimativa de biomassa por hectare

Estimativa	Madeira*	Casca	Galhos	Folhas	Ponteira	Total
Biomassa (kg.árvore^{-1})	96,45	8,00	2,43	1,92	0,39	109,19
Biomassa (t.ha^{-1})	128,95	10,69	3,25	2,57	0,52	145,99
Biomassa (%)	88,33%	7,32%	2,23%	1,76%	0,35%	100,00%

*Madeira total excluindo a ponteira

Fonte: ANA FLÁVIA NEVES MENDES CASTRO, 2014.

De posse dos dados apresentados na TABELA foi elaborada uma tabela que expressasse a quantidade de resíduos que são descartados durante a extração.

Estimativa de biomassa por hectare, Amostras

Município	Área plantada (ha) - 2014	Área plantada em 1 ano	Numero de Árvores por hectares	Biomassa de folhas (Ton ha-1)	Biomassa de galhos (Ton ha-1)	Valores multiplicadores obtidos através da teca: Biomassa de madeira (Ton ha-1)	Valores multiplicadores obtidos Ana Flavia: Biomassa da casca (Ton ha-1)	Biomassa de ponteira (Ton ha-1)
Águas Vermelhas	8.897,00	1.271,00	1.589.889,00	3.266,47	4.190,75	163.899,45	13.586,99	660,81
Bocaiuva	6.749,00	964,14	1.190.716,43	2.477,85	3.179,48	124.324,22	10.306,69	501,35
Brasilândia de Minas	35.000,00	5.000,00	6.175.000,00	12.862,00	16.502,00	644.790,00	53.450,00	2.600,00
Buritizeiro	28.500,00	4.071,43	5.028.214,29	10.469,57	13.432,14	525.016,71	43.523,57	2.117,14
Capelinha	21.000,00	3.000,00	3.705.000,00	7.716,00	9.900,00	386.850,00	32.070,00	1.560,00
Carlosmile	35.000,00	4.714,29	5.822.142,86	12.125,71	15.557,14	607.907,14	50.395,71	2.451,43
Carinta	5.536,00	790,86	976.708,57	2.032,50	2.606,29	101.981,03	8.454,26	411,25
Carvelo	30.684,00	4.383,43	5.413.584,29	11.269,41	14.456,14	565.243,11	46.858,85	2.279,58
Estrela do Sul	39.340,00	5.620,00	6.940.700,00	14.443,60	18.525,00	724.699,00	60.077,80	2.922,40
Felixlândia	22.947,00	3.278,14	4.048.308,43	8.424,83	10.806,29	422.716,52	35.040,39	1.704,83
Francisco Sá	4.953,00	707,57	873.850,71	1.818,48	2.333,01	91.241,34	7.563,94	367,94
Grão Mogol	10.700,00	1.528,57	1.887.785,71	3.928,43	5.039,86	197.109,29	16.340,43	794,86
Ibiraci	7.200,00	1.028,57	1.270.285,71	2.643,43	3.391,86	132.654,29	10.995,43	534,86
Itacambira	9.500,00	1.357,14	1.676.071,43	3.487,86	4.475,71	175.003,57	14.507,86	705,71
Itamarandiba	52.000,00	7.428,57	9.174.285,71	19.091,43	24.502,86	957.954,29	79.411,43	3.862,86
João Pinheiro	133.000,00	19.000,00	23.465.000,00	48.830,00	62.650,00	2.450.050,00	203.110,00	9.880,00
Lagoa Grande	12.200,00	1.742,86	2.152.428,57	4.479,14	5.748,29	224.741,43	18.631,14	906,29
Lassance	29.000,00	4.142,86	5.116.428,57	10.647,14	13.664,29	534.231,43	44.287,14	2.154,29
Minas Novas	24.000,00	3.428,57	4.234.285,71	8.811,43	11.312,86	442.114,29	36.651,43	1.782,86
Morada Nova de Minas	25.000,00	3.571,43	4.410.714,29	9.178,57	11.607,14	460.535,71	38.178,57	1.857,14
Natuba	10.300,00	1.471,43	1.817.314,29	3.781,57	4.782,14	189.740,71	15.726,57	765,14
Olhos d'Água	19.600,00	2.800,00	3.458.000,00	7.196,00	9.100,00	361.060,00	29.932,00	1.456,00
Padre Carvalho	10.000,00	1.428,57	1.764.285,71	3.671,43	4.642,86	184.214,29	15.271,43	742,86
Rio Pardo de Minas	11.795,00	1.827,57	2.257.050,71	4.696,86	5.939,61	235.665,34	19.536,74	950,54
Romaria	97.200,00	9.314,29	8.583.142,86	13.857,71	17.271,43	685.277,14	56.800,71	2.763,43
Sarzamento	18.528,00	2.646,86	3.268.868,57	6.802,43	8.602,29	341.512,23	28.294,90	1.376,57
Três Marias	33.210,00	4.744,29	5.893.102,86	12.282,81	15.418,93	611.775,64	50.716,42	2.467,03
Turmalina	14.005,00	2.000,71	2.470.882,14	5.141,84	6.502,32	257.992,11	21.387,64	1.040,37
Uberlândia	11.540,00	3.077,14	3.800.171,43	7.908,26	10.000,71	396.797,57	31.894,90	1.600,11
Somatório	**716.382,00**	**102.340,29**	**126.390.252,86**	**263.014,93**	**332.605,93**	**13.196.779,84**	**1.094.017,65**	**53.216,95**

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Estimativa de biomassa por hectare, Minas Gerais e Brasil

País / Estado	Área plantada (ha) - 2014	Biomassa de folhas (Ton ha-1)	Biomassa de galhos (Ton ha-1)	Biomassa de madeira (Ton ha-1)	Biomassa da casca (Ton ha-1)
Minas Gerais	1.713.576,00	4.403.890,32	5.569.122,00	220.965.625,20	18.318.127,44
Brasil	6.951.145,00	17.864.442,65	22.591.221,25	896.350.147,75	74.307.740,05

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Tendo em vista a TABELA o total de resíduos (folhas, galhos e casca) será de aproximadamente 28,3 milhões toneladas por hectares em Minas Gerais que serão descartados e consequentemente não aproveitados.

Potencial desperdiçado

Como já mensurado anteriormente a quantidade de resíduos descartados em Minas Gerais é de aproximadamente 28,3 milhões de toneladas (folhas, galhos e cascas).

Passos:

1° Cálculo do Potencial energético de todos subprodutos do Eucalipto

2° Conversão para kWh

3° Potência disponível em 1 ano

1 ° Passo Cálculo do Potencial energético de todos subprodutos do Eucalipto

Para chegar a tal parâmetro foram calculados os potenciais de Energéticos da folha, casca, madeira e galho através da fórmula;

$$PE = Biomassa\ x\ PCS\ x\ 4{,}19002$$

Lembrando que;

PE = Potencial Energético .

Biomassa = Biomassa de madeira, casca, galhos ou folhas (kg).

PCS = Poder calorífico superior da madeira, casca, galhos ou folhas (kcal/kg).

4,19002 = Fator de conversão para kj.

O poder calorifico adotado

Componentes das árvores	Densidade ($kg.m^{-3}$)	PCS ($kcal.kg^{-1}$)	Análise Química Imediata		
			Voláteis	Cinzas	Carbono fixo
			(%)		
Madeira	517,8 (Básica)	4588	84,95	0,18	14,90
Casca	330,6 (Básica)	4400	81,23	2,65	16,12
Galho	-	4688	81,11	2,25	16,64
Folha	-	5082	76,86	4,31	18,83

Fonte: ANA FLÁVIA NEVES MENDES CASTRO, 2014.

O poder calorifico adotado para cada subproduto foi retirado da tabela produzida pela Tese de Doutorado - Ana Flávia Castro, 2014.

Tabela com os valores referentes de potencial energético das amostras de 29 cidades adotadas no projeto

Cidades	Biomassa de folhas potencia (bj)	Biomassa de galhos potencia (bj)	Biomassa de madeira potencia (bj)	Biomassa da casca potencia (bj)
Águas Vermelhas	69.555.172,27	81.159.552,94	3.150.695.279,12	250.490.943,30
Bocaiúva	52.762.488,21	61.550.055,39	2.390.023.877,57	190.014.991,15
Brasilândia de Minas	273.623.809,07	319.195.723,60	12.394.552.632,26	985.408.905,60
Buritizeiro	222.807.958,82	259.916.517,79	10.092.707.143,41	802.404.592,95
Capelinha	164.174.285,44	191.517.454,16	7.436.731.579,56	591.245.342,16
Carbonita	257.988.162,84	300.955.967,97	11.686.292.481,85	929.099.823,39
Corinto	43.279.468,77	50.487.643,60	1.960.464.096,35	155.863.534,01
Curvelo	239.882.084,50	279.854.550,84	10.866.127.227,66	863.895.908,52
Estrela do Sul	307.553.161,40	358.775.993,53	13.931.477.158,66	1.107.599.607,65
Felixlândia	179.395.587,05	209.273.836,27	8.126.222.835,78	646.062.231,74
Francisco Sá	38.721.677,90	45.170.754,83	1.754.006.262,50	139.449.437,13
Grão Mogol	83.650.707,35	97.582.692,64	3.789.191.804,72	301.253.579,10
Ibirací	56.388.326,44	65.665.120,28	2.549.736.541,49	202.713.688,74
Itacambira	74.269.319,61	86.638.839,26	3.364.235.714,47	267.468.130,98
Itamarandiba	406.526.802,05	474.233.646,49	18.414.763.910,79	1.464.038.085,35
João Pinheiro	1.009.770.474,48	1.212.943.749,68	47.099.300.002,59	3.744.553.833,68
Lagoa Grande	95.377.442,02	111.262.509,57	4.320.386.917,53	343.485.589,25
Lassance	226.716.870,38	264.476.456,70	10.269.772.181,02	816.481.662,98
Minas Novas	187.627.754,79	218.877.067,61	8.499.121.804,98	675.708.982,47
Morada Nova de Minas	195.449.577,91	227.996.945,43	8.853.251.880,19	703.865.502,57
Nanuque	80.523.578,10	93.954.741,51	3.647.539.774,64	288.991.765,06
Olhos-d'Água	153.229.333,08	178.749.605,22	6.940.949.474,07	551.828.986,02
Padre Carvalho	78.178.231,16	91.198.778,17	3.541.300.752,07	281.545.401,03
Rio Pardo de Minas	100.013.411,13	116.670.596,91	4.530.386.052,13	360.181.031,56
Romaria	290.823.019,93	339.259.454,80	13.173.638.797,72	1.047.348.891,83
Sacramento	144.848.626,70	168.973.096,20	6.561.322.033,44	521.647.319,03
Três Marias	259.629.905,70	302.871.142,31	11.760.659.797,64	935.012.276,82
Turmalina	108.488.612,75	127.723.888,83	4.959.591.703,28	394.304.354,14
Uberlândia	168.595.909,93	196.442.168,18	7.627.961.819,97	606.448.793,81
Somatório	5.600.547.759,77	6.533.316.310,40	253.692.411.537,25	20.169.405.747,97

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Tabela com os valores referentes de potencial energético de Minas Gerais e Brasil

País / Estado	Biomassa de folhas potencia (kj)	Biomassa de galhos potencia (kj)	Biomassa de madeira potencia (kj)	Biomassa da casca potencia (kj)
Brasil	380.399.754.465,14	443.755.151.624,70	17.231.266.511.394,20	1.369.944.034.642,92
Minas Gerais	93.775.038.451,56	109.393.226.252,72	4.247.801.584.275,51	337.714.609.479,06

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

2° Passo Conversão para kWh

Em seguida os valores levantados anteriormente foram multiplicados pelo fator de conversão 0,0002778 (joule) para obter kWh esse valor de multiplicação foi obtido através da tabela de Fatores de Conversão Sistema Internacional (SI)

Energia desperdiçada das amostras

Cidades	Biomassa de folhas Energia (kWh)	Biomassa de galhos Energia (kWh)	Biomassa de madeira Energia (kWh)	Biomassa da casca Energia (kWh)
Águas Vermelhas	19.522,43	22.540,57	875.263,15	69.586,58
Bocaiúva	14.657,42	17.098,61	663.948,63	52.786,16
Brasilândia de Minas	76.012,69	88.672,57	3.443.206,72	273.746,59
Buritizeiro	61.896,05	72.204,81	2.803.754,04	222.907,94
Capelinha	45.607,62	53.203,54	2.065.924,03	164.247,96
Carbonita	71.669,11	83.605,57	3.246.452,05	258.103,93
Corinto	12.023,04	14.025,47	544.616,93	43.298,89
Curvelo	66.639,24	77.737,98	3.018.610,14	239.989,73
Estrela do Sul	85.438,27	99.667,97	3.870.164,35	307.691,17
Felixlândia	49.836,09	58.136,27	2.257.464,70	179.476,09
Francisco Sá	10.756,88	12.548,44	487.262,94	38.738,05
Grão Mogol	23.238,17	27.108,47	1.052.657,48	83.688,24
Ibiraci	15.636,90	18.241,21	708.316,81	56.313,58
Itacambira	20.632,02	24.068,27	934.584,68	74.302,65
Itamarandiba	112.933,15	131.742,11	5.115.621,41	406.709,22
João Pinheiro	288.848,24	336.955,77	13.084.185,54	1.040.237,05
Lagoa Grande	26.495,85	30.908,73	1.200.203,49	95.420,24
Lassance	62.981,95	73.471,56	2.852.942,71	226.818,61
Minas Novas	52.122,99	60.804,05	2.361.056,04	187.711,95
Morada Nova de Minas	54.294,78	63.337,55	2.459.433,37	195.533,28
Nanuque	22.569,45	26.095,07	1.013.286,55	80.559,71
Olhos-d'Água	43.567,11	49.656,64	1.928.195,76	153.298,09
Padre Carvalho	21.717,91	25.335,02	983.773,35	78.213,31
Rio Pardo de Minas	27.783,73	32.411,09	1.258.541,25	100.058,29
Romaria	80.790,63	94.246,28	3.659.636,86	290.953,52
Sacramento	40.238,95	46.940,73	1.822.735,26	144.913,63
Três Marias	72.125,19	84.137,60	3.267.111,29	259.746,41
Turmalina	30.415,94	35.481,70	1.377.774,58	109.537,74
Uberlândia	46.780,38	54.571,68	2.119.047,79	168.471,47
Somatório	1.555.832,17	1.814.955,27	70.475.751,91	5.603.060,92

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Energia desperdiçada de Minas e Brasil

País / Estado	Energia gerada da folhas kWh	Energia gerada do galhos kWh	Energia gerada da madeira kWh	Energia gerada da casca kWh
Brasil	105.675.051,79	123.275.181,12	4.786.845.836,87	380.570.452,82
Minas Gerais	26.050.705,68	30.389.438,25	1.180.039.280,11	93.817.118,51

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Em Minas Gerais a Energia que e desperdiçada gira em torno de 150.257,3 MWh

3° Passo Potência disponível em 1 ano

Após a descoberta da quantidade de energia produzida por região foi utilizado um modelo de cálculo proposto por Carvalho em que;

Fator de Carga = 0,60

Fator de Disponibilidade = 0,97

Para descobrir a potência disponível em 1 ano foi utilizado a seguinte equação;

$$Potência\ (em\ KW) x\ 24\ horas\ x\ 365\ dias\ x\ 0{,}97\ x\ 0{,}60 = kWh$$

3° Passo Potência disponível em 1 ano

Como já foi calculado o kWh e deseja-se encontra a Potência Gerada a equação ficará ;

$$Potência\ (em\ KW) = \frac{\text{Energia (em kWh)}}{24\ horas\ x\ 365\ dias\ x\ 0{,}97\ x\ 0{,}60}$$

Potencial das amostras adotada no projeto obtendo os seguintes valores

Cidades	Biomassa de folhas potencia (kw)	Biomassa de galhos potencia (kw)	Biomassa de madeira potencia (kw)	Biomassa da casca potencia (kw)
Águas Vermelhas	3,79	4,42	171,68	13,65
Bocaiúva	2,87	3,35	130,23	10,35
Brasilândia de Minas	14,91	17,39	675,36	53,69
Buritizeiro	12,14	14,16	549,94	43,72
Capelinha	8,95	10,44	405,22	32,22
Carbonita	14,06	16,40	636,77	50,63
Corinto	2,36	2,75	106,82	8,49
Curvelo	13,07	15,25	592,08	47,07
Estrela do Sul	16,76	19,55	759,11	60,35
Felixlândia	9,78	11,40	442,79	35,20
Francisco Sá	2,11	2,46	95,57	7,60
Grão Mogol	4,56	5,32	206,47	16,41
Ibirací	3,07	3,58	138,93	11,05
Itacambira	4,05	4,72	183,31	14,57
Itamarandiba	22,15	25,84	1.003,39	79,77
João Pinheiro	56,66	66,09	2.566,37	204,04
Lagoa Grande	5,20	6,06	235,41	18,72
Lassance	12,35	14,41	559,58	44,49
Minas Novas	10,22	11,93	463,10	36,82
Morada Nova de Minas	10,65	12,42	482,40	38,35
Nanuque	4,39	5,12	198,75	15,80
Olhos-d'Água	8,35	9,74	378,20	30,07
Padre Carvalho	4,26	4,97	192,96	15,34
Rio Pardo de Minas	5,45	6,36	246,85	19,63
Romaria	15,85	18,49	717,81	57,07
Sacramento	7,89	9,21	357,52	28,42
Três Marias	14,15	16,50	640,82	50,95
Turmalina	5,97	6,96	270,24	21,49
Uberlândia	9,18	10,70	415,64	33,04
somatório	305,17	355,99	13.823,33	1.099,00

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Potencial de Minas Gerais e Brasil no projeto obtendo os seguintes valores

País / Estado	Biomassa de folhas potencia (kw)	Biomassa de galhos potencia (kw)	Biomassa de madeira potencia (kw)	Biomassa da casca potencia (kw)
Brasil	20.727,43	24.179,57	938.906,51	74.646,25
Minas Gerais	5.109,66	5.960,68	231.456,50	18.401,58

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

A potência desperdiçada em Minas Gerais e de aproximadamente 29,5MW

Comparação das amostras adotadas no trabalho com Minas Gerais

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado do IBGE.

Análise do Gráfico

Com isso percebemos que as amostras adotadas para produção do trabalho seguiu a mesma linha de distribuição que todo o estado de Minas Gerais justificando assim a escolha das mesmas.

Concluímos também que 11% de toda energia que poderia ser produzida está sendo descartada.

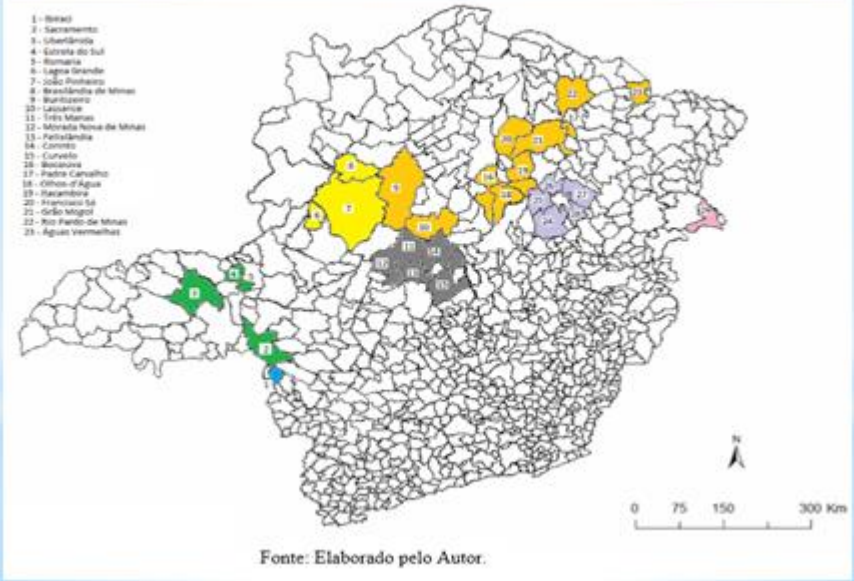
Aspectos conjunturais

Econômicos: o custos de oportunidade no que tange compra de matéria prima aproxima de zero sendo assim constituem de uma alternativa atrativa do ponto de vista econômico.

Social: viabilidade social do plantio de florestas energéticas, uma vez que o setor gera empregos e "segura o homem no campo"

Ambientais: A mitigação das mudanças Climáticas e principalmente o combate à poluição ambiental estão diretamente ligados a substituição dos combustíveis fóssil e pela energia renovável da biomassa.

Mapeamento Energético de Resíduos Florestais das Amostras



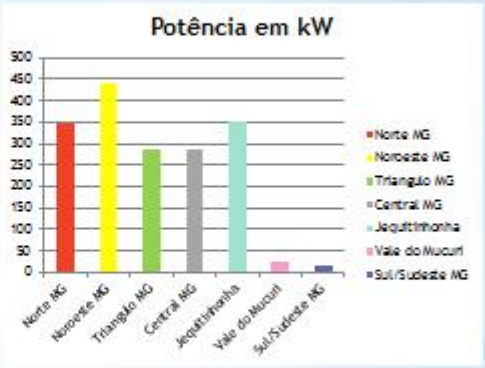
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mapeamento Energético de Resíduos Florestais por Microrregiões

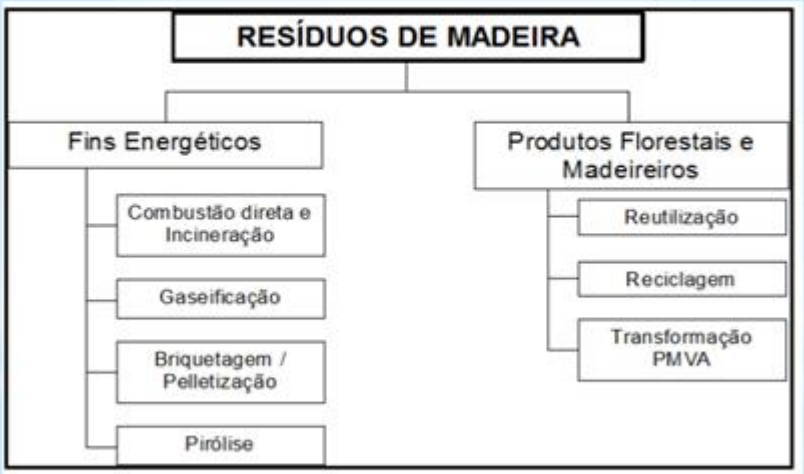
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Distribuição da potência

Região	Potência
Norte MG	345,67 kW
Noroeste MG	442,76 kW
Triangulo MG	286,50 kW
Central MG	288,4 kW
Jequitinhonha	353,82 kW
Vale do Mucuri	25,31 kW
Sul/Sudeste MG	17,69 kW



Alternativas Tecnológicas para utilização do Resíduo



Fonte: LPF (Laboratório de Produtos Florestais)

Conclusão

Hoje a utilização de resíduos para fins energéticos em minas gerais pode-se dizer que esta sendo cada vez mais eficaz. Pois as empresas atualmente estão tendo outra visão de negócio e investimento ao longo prazo, pois ao longo dos anos os custos da matéria prima está cada vez ficando mais cara e leis ambientais entravam a extração compulsiva, e hoje as empresas não tratam o resíduo como problema ou passivo ambiental, mas sim como uma nova fonte de energia e uma oportunidade para ser aplicado em seu negócio de tal forma que utiliza o resíduo florestal como combustível e evitando o descarte indevido.

Obrigado!!

2015

POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS - MG

Gerência de Alternativas Energéticas – TE/AE

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

Introdução

- Relatório técnico consistente de estudos do potencial energético dos resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais e comparações entre os possíveis fins a serem dados ao lixo produzido em todo o estado.
- Energia elétrica a ser gerada a partir dos RSU no processo de incineração
- Potencial financeiro da fração reciclável do lixo.

Classificação: Público

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

Metodologia

ETAPA 1
- Levantamento de população
- Método de projeção populacional
- Relação População x RSU
- Projeção da geração de RSU
- Cálculo final da geração

ETAPA 2
- Composição do lixo
- Relação RSU x Energia Elétrica
- Cálculo da energia elétrica gerada

ETAPA 3
- Potencial financeiro do lixo reciclável
- Comparação reciclagem x venda de energia.

Classificação: Público

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Os Resíduos Sólidos Urbanos

Podem ser mais facilmente compreendidos como lixo, decorrentes de qualquer atividade doméstica, comercial, industrial e agrícola.

ORIGEM

- Resíduo Hospitalar
- Resíduo Domiciliar
- Resíduo Agrícola
- Resíduo Comercial
- Resíduo Industrial
- Entulho
- Resíduo Público
- Resíduo de portos
- Resíduos de Mineração
- Resíduos de aeroportos

TIPO

- Resíduo reciclável
- Resíduo não reciclável

COMPOSIÇÃO

- Resíduos Orgânicos
- Resíduos Inorgânicos

PERICULOSIDADE

- Resíduos Perigosos
- Resíduos não perigosos

Classificação: Público

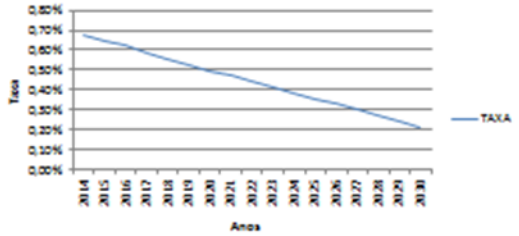
SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Dados de população

Minas Gerais	Total (2014)
853 municípios	20.688.348 Habitantes

Taxa de crescimento populacional



Projeção

Minas Gerais	Total (2044)
853 municípios	23.604.958 Habitantes

Classificação: Público

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

População x RSU

Geração de RSU por classe em Belo Horizonte (kg/dia)

Classe Econômica	Renda Familiar Mensal (R$/mês)	Geração de RSU (kg/dia)
A1	14.366,00	28.380,90
A2	8.099,00	114.859,63
B1	4.558,00	193.632,53
B2	2.327,00	270.432,55
C1	1.391,00	312.778,85
C2	933,00	260.523,33
D	618,00	219.726,73
E	403,00	12.035,73
TOTAL		1.412.370,25

Geração per capita de RSU em Belo Horizonte (kg/hab/dia) Fonte: Artigo Técnico

População de Belo Horizonte	Total de RSU
2.491.109	1.412.370,25

0,57 kg/hab./dia)

Classificação: Público

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

População x RSU

Geração per capita de RSU no Brasil (kg/hab./dia)

Região	Geração per capita de RSU
Sul	0,81
Sudeste	0,88
Nordeste	1,03
Norte	1,15
Centro-Oeste	1,47

Fonte: Artigo Técnico

Geração per capita de RSU em Minas Gerais (kg/hab./dia)

Região	Geração per capita de RSU
Belo Horizonte	0,57
Sudeste	0,88
Minas Gerias	0,72

Valor utilizado
Para cálculos → 0,72 kg/hab./dia (média encontrada)

CEMIG

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

Geração total de RSU

[POPULAÇÃO x (RELAÇÃO RSUxHAB.) x 365] / 1000

[PROJEÇÃO x (RELAÇÃO RSUxHAB.) x 365] / 1000

População em 2014	Geração total de RSU em 2014 (ton/ano)	Projeção de população em 2044	Produção total de RSU em 2044 (ton/ano)
20.688.348	5.436.897,85	23.604.958	6.203.383,05

Classificação: Público

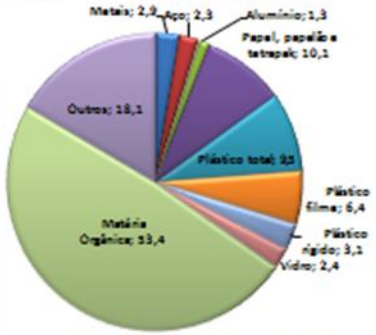
SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

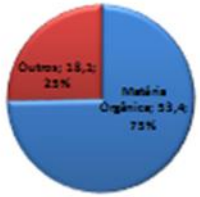
Composição do Lixo

Resíduos	Participação (%)	Quantidade (ton/ano)
Material Reciclável	25,5	1.549.515,69
Metais	2,9	157.670,04
Aço	2,3	125.048,65
Alumínio	1,3	70.679,67
Papel Papelão e Tetrapak	10,1	549.126,66
Plástico Total	9,5	516.505,50
Plástico Filme	6,4	347.961,46
Plástico Rígido	3,1	168.543,55
Vidro	2,4	130.465,55
Matéria Orgânica	53,4	2.903.505,45
Outros	18,1	984.076,51
TOTAL	100,0	5.436.897,85

Composição Gravimétrica RSU



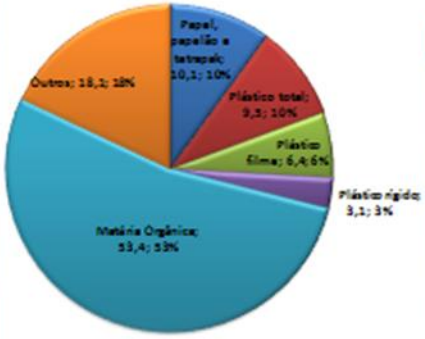
Total do lixo não reciclável



SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

Composição do Lixo

Total de RSU Aproveitado para Incineração



Resíduos	Participação (%)	Quantidade (t/ano)
Material Reciclável	19,6	1.065.651,98
Papel Papelão e Tetrapak	10,1	549.126,68
Plástico Total	9,5	516.505,50
Plástico Filme	6,4	347.961,46
Plástico Rígido	3,1	168.543,85
Matéria Orgânica	53,4	2.903.303,45
Outros	18,1	984.078,51
TOTAL	91,1	4.953.013,95

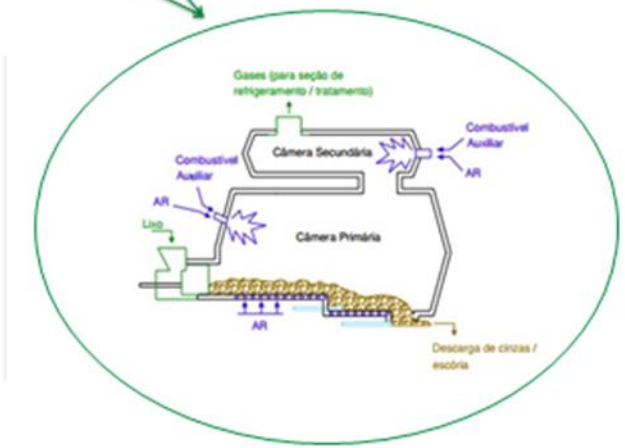
Fração considerada

Classificação: Público

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

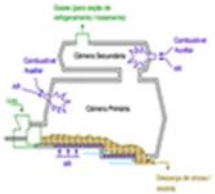
Processo de Incineração



SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

RSU x Energia Elétrica

Quanto de energia elétrica é possível gerar com o lixo produzido no estado?



Incinerador de RSU

600 kWh ou 0,6 MWh
por tonelada processada.

Total do lixo aproveitado para incineração – 91,1%

TON/ANO (2014) – 4.953.013,95
TON/DIA (2014) – 13.569,90
TON/ANO (2044) – 5.651.281,96
TON/DIA (2044) – 15.482,96

TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA GERADA (MWh)		
	2014	2044
DIA	8.141,94	9.289,78
ANO	2.971.808,37	3.390.796,18

Classificação: Público

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

RSU destinado à reciclagem

Preço por KG de cada material reciclável

↓

Participação de cada material no total do lixo reciclável

↓

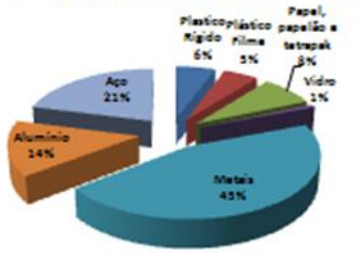
Potencial financeiro de cada material reciclável

↓

Potencial financeiro total do lixo reciclável

Material	Total (R$/ano)
Plástico Rígido	117.980.660
Plástico Filme	104.388.450
Papel, papelão e tetrapak	164.738.010
Vidro	15.658.260
Metais	946.020.000
Alumínio	302.309.116
Aço	437.670.450
TOTAL	R$ 2.088.964.946,00

Participação por material no potencial financeiro do lixo reciclável em Minas Gerais



SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

RSU destinado à geração de energia elétrica

Total de Energia Elétrica gerada

↓

Preço do MWh no leilão de energia

↓

Preço do MWh no mercado spot

↓

Valor arrecadado com a venda de energia – Leilão

↓

Valor arrecadado com a venda – Mercado Spot

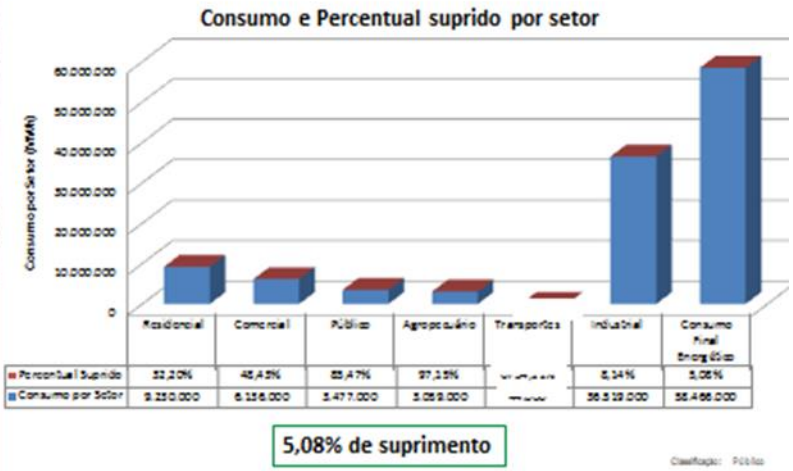
Energia Gerada (MWh/ano)	Venda no Leilão de Energia (R$)	Venda no Mercado Livre (R$)
2.971.808,37	621.107.949,33	1.082.540.634,93

Classificação: Público

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

Considerações Finais

Energia elétrica suprida pelos resíduos sólidos urbanos em cada setor
Dados do 28º BEEMG | 2013 – Ano base 2012



5,08% de suprimento

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

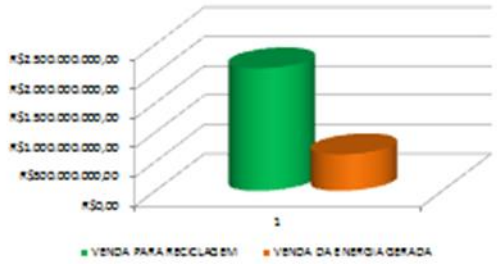
Considerações Finais

Destinos finais para o lixo produzido no estado de Minas Gerais

RECICLAGEM
- Venda de todo o lixo reciclável: **R$ 2.088.964.964,00**

GERAÇÃO DE ENERGIA
- Venda de energia gerada pelo lixo produzido: **R$ 621.107.948,00**

POTENCIAL FINANCEIRO DO LIXO



Reciclagem arrecada 3,3 x mais que a geração de energia

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

Considerações Finais

Melhores destinos do ponto de vista financeiro

CENÁRIO 1	
Descrição	**Valor Arrecadado**
Venda direta do todo lixo reciclável	R$ 2.088.964.964,00
Venda da energia gerada pela matéria orgânica e outros (leilão)	R$ 487.477.697,78
TOTAL	**R$ 2.576.442.661,78**

CENÁRIO 2	
Descrição	**Valor Arrecadado**
Venda direta do todo lixo reciclável não incinerável	R$ 1.701.857.826,00
Venda da energia gerada pela matéria orgânica e outros (leilão)	R$ 487.477.697,78
Venda da energia gerada pelos recicláveis incineráveis (leilão)	R$ 133.630.250,22
TOTAL	**R$ 2.322.965.774,00**

Classificação: Público

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

Próximas Etapas

Correção do relatório
Adequação ao formato de artigo técnico

Classificação: Público

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

ENERGIA DA BIOMASSA
(Leilão de energia A-5. 28/11/2014)
R$ 209,00/MWh

PREÇO DE LIQUIDAÇÃO DAS DIFERENÇAS MÉDIO
(Mercado Livre/Spot)
R$ 364,27/MWh

Classificação: Público

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

CEMIG

PREÇO POR KILO DE MATERIAL RECICLÁCVEL

Material	Preço (R$/KG)
Plástico Duro (rígido)	0,70
Plástico Fino (filme)	0,30
Papelão (papelão papel e tetrapak)	0,30
Vidro	0,12
Metais	6,00
Alumínio	4,28
Aço	3,50

Classificação: Público

SOMOS
A CEMIG,
A SUA,
A NOSSA
ENERGIA.

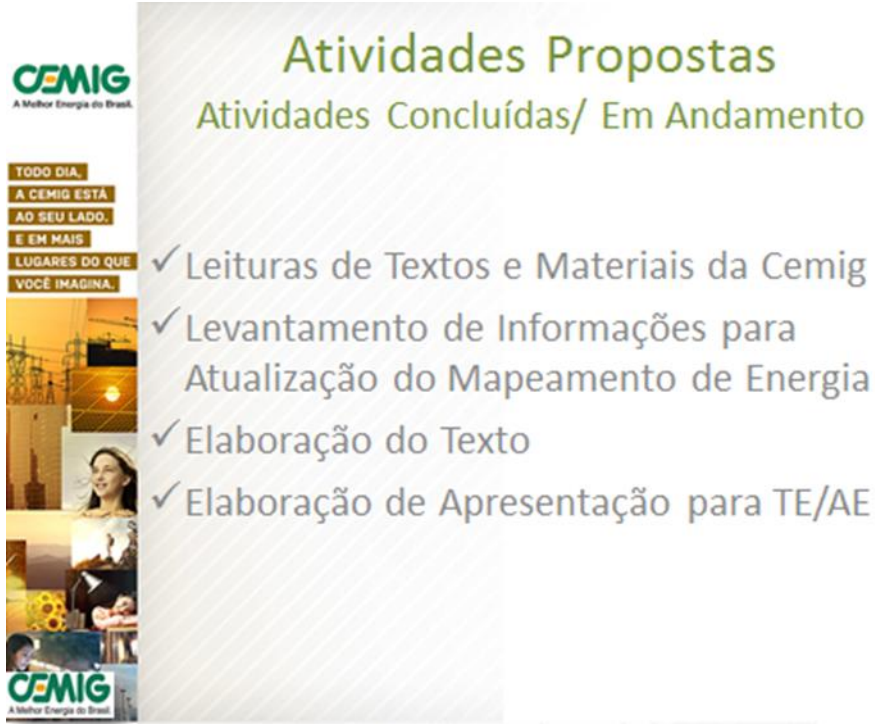
CEMIG

OBRIGADO!

Classificação: Público

2014

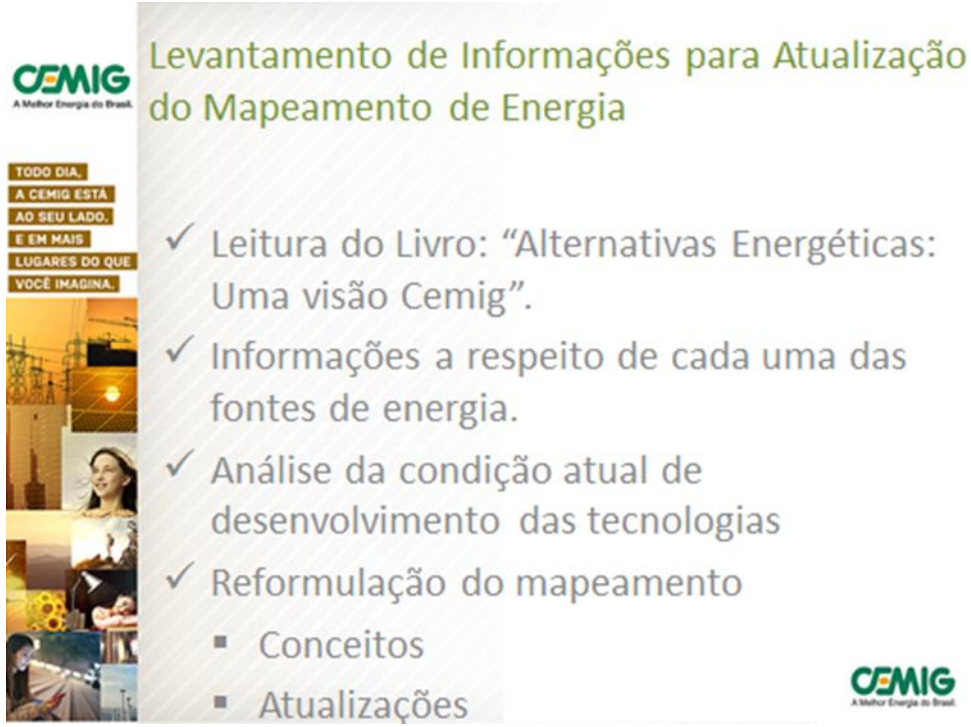
CEFET-MG
Atividades de Estágio
Thaís Vidigal
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.



Atividades Propostas

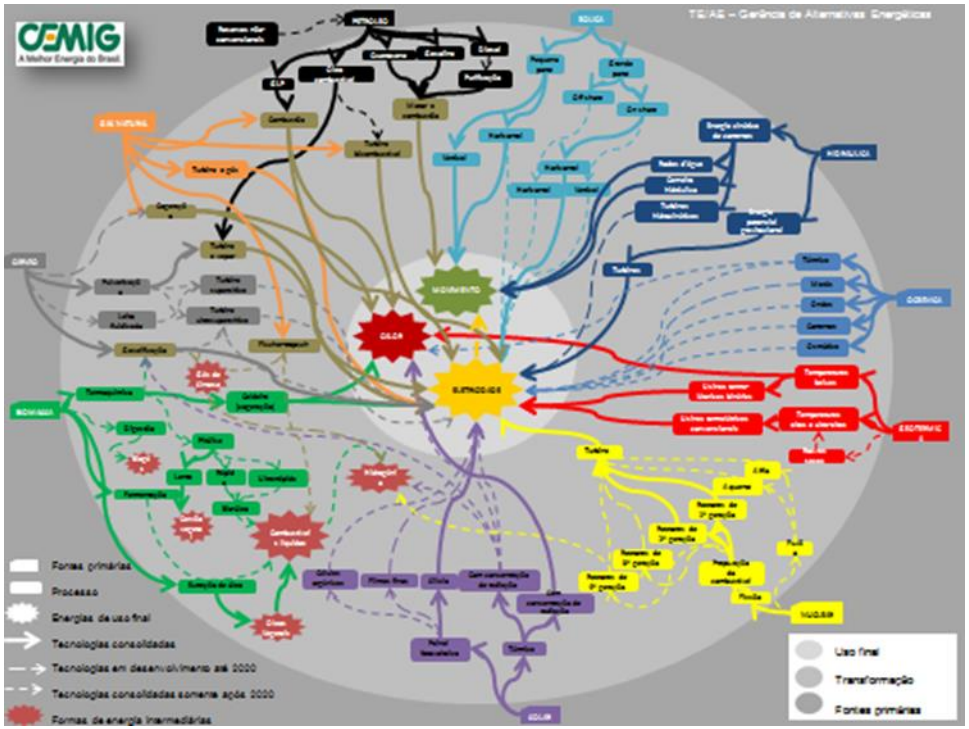
Atividades Concluídas/ Em Andamento

- ✓ Leituras de Textos e Materiais da Cemig
- ✓ Levantamento de Informações para Atualização do Mapeamento de Energia
- ✓ Elaboração do Texto
- ✓ Elaboração de Apresentação para TE/AE

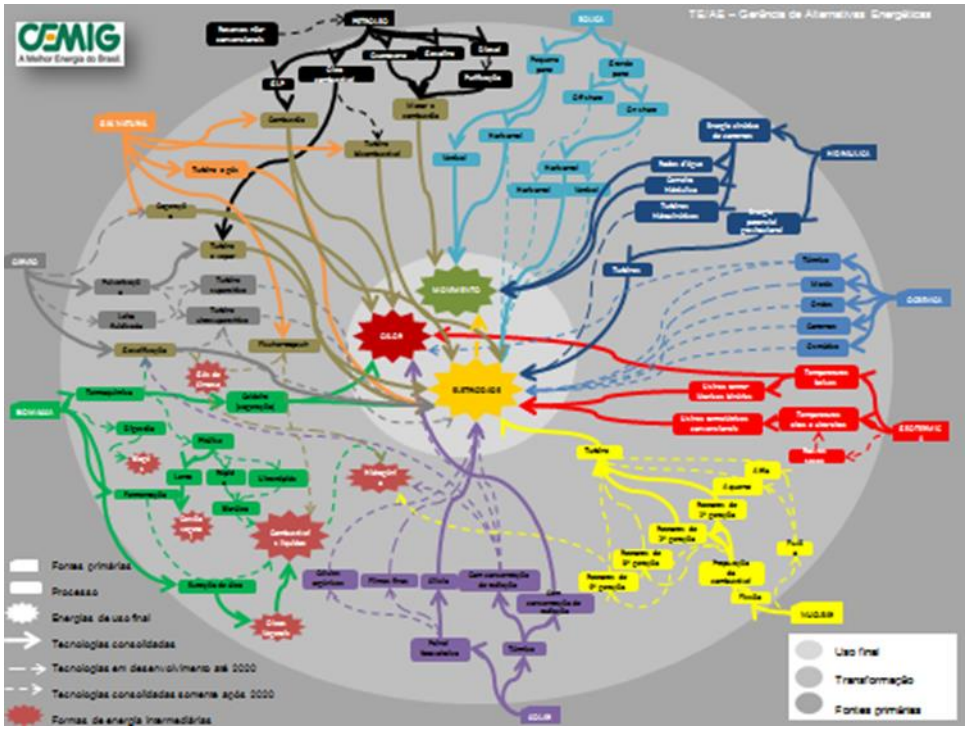

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Levantamento de Informações para Atualização do Mapeamento de Energia
✓ Leitura do Livro: "Alternativas Energéticas: Uma visão Cemig".
✓ Informações a respeito de cada uma das fontes de energia.
✓ Análise da condição atual de desenvolvimento das tecnologias
✓ Reformulação do mapeamento
▪ Conceitos
▪ Atualizações
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Leituras de Textos e Materiais da Cemig
✓ Atlas Solarimétrico
✓ Cartilhas
✓ (26º e 27º) Balanço Energético de Minas Gerais
✓ Artigos P&D
✓ PDE 2021/2022
✓ Alternativas Energéticas: Uma visão CEMIG

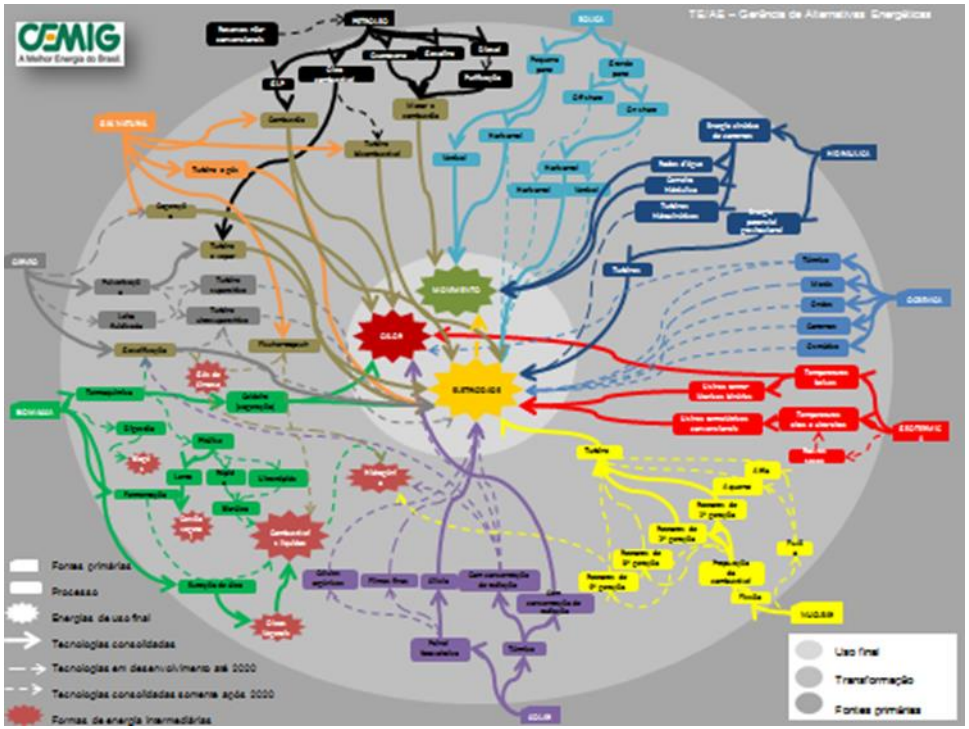
Mapeamento energético 2010


CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
TE/AE – Gerência de Alternativas Energéticas
Fontes primárias
Processo
Energias de uso final
Tecnologias consolidadas
Tecnologias em desenvolvimento até 2020
Tecnologias consolidadas somente após 2020
Formas de energia intermediárias
Uso final
Transformação
Fontes primárias

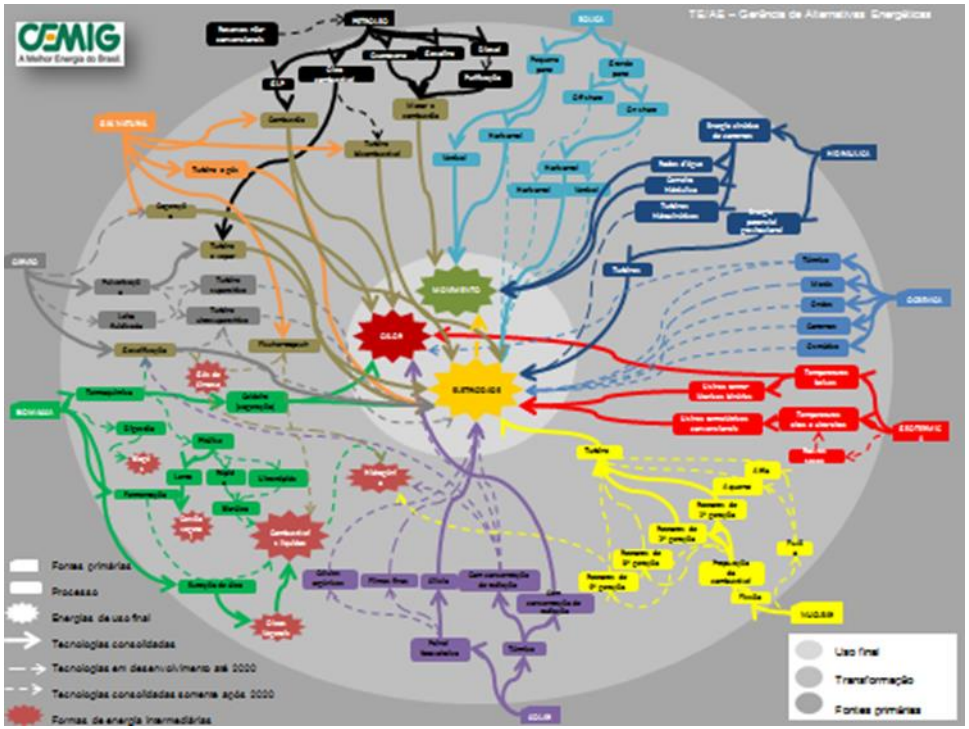
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
ENERGIA SOLAR
Painéis Fotovoltaicos
SILÍCIO
Consolidada - corresponde a 80% da produção do mercado mundial
Possui uma eficiência energética de 16%
Célula de silício monocristalino


CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
TE/AE – Gerência de Alternativas Energéticas
Fontes primárias
Processo
Energias de uso final
Tecnologias consolidadas
Tecnologias em desenvolvimento até 2020
Tecnologias consolidadas somente após 2020
Formas de energia intermediárias
Uso final
Transformação
Fontes primárias

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
ENERGIA SOLAR
Painéis Fotovoltaicos
FILMES FINOS:
Silício amorfo e a presença de elementos semicondutores (cobre, índio e selênio).
As células solares de filmes finos estão ainda no início de seu crescimento ao serem comparadas com o Silício.
Diminuir os custos dos painéis e aumentar a durabilidade e confiabilidade dos mesmos.
O principal problema enfrentado para um aumento na fabricação dos filmes finos CIGS e CIS está relacionado à quantidade de índio (In) utilizado.


CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
TE/AE – Gerência de Alternativas Energéticas
Fontes primárias
Processo
Energias de uso final
Tecnologias consolidadas
Tecnologias em desenvolvimento até 2020
Tecnologias consolidadas somente após 2020
Formas de energia intermediárias
Uso final
Transformação
Fontes primárias

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
ENERGIA SOLAR
Painéis Fotovoltaicos
CÉLULAS ORGÂNICAS
No caso das células orgânicas, pesquisadores já conseguiram desenvolver diversos protótipos das células, entretanto, a fabricação em larga escala dessas células continua sem ser rentável economicamente e energeticamente. Em médio prazo espera-se chegar a altos níveis de transparência e eficiência necessárias para alimentar dispositivos.

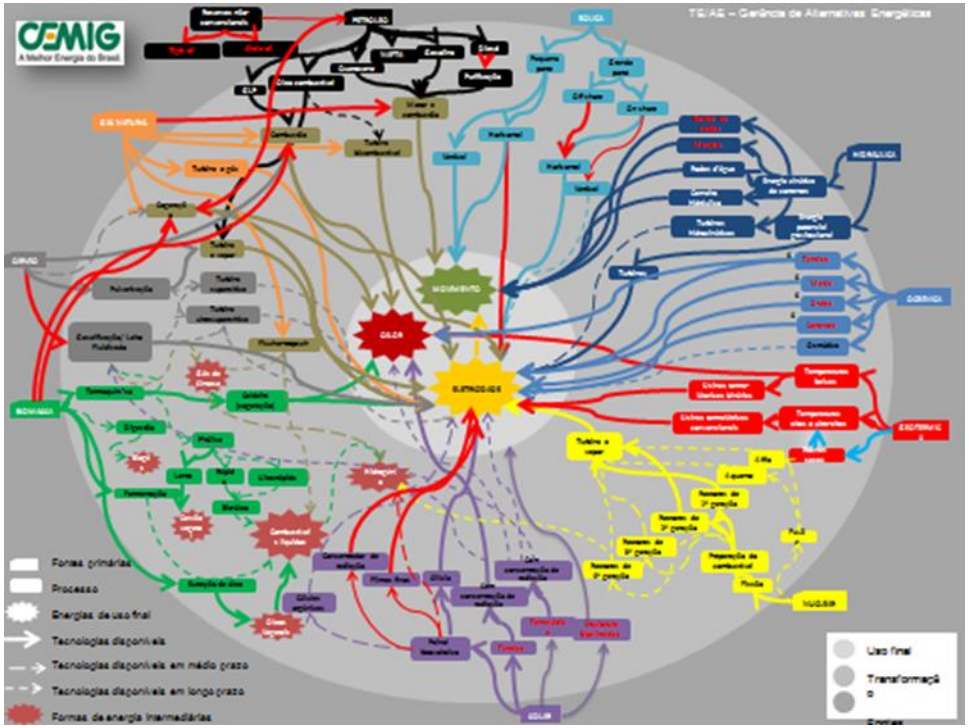

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
TE/AE – Gerência de Alternativas Energéticas
Fontes primárias
Processo
Energias de uso final
Tecnologias consolidadas
Tecnologias em desenvolvimento até 2020
Tecnologias consolidadas somente após 2020
Formas de energia intermediárias
Uso final
Transformação
Fontes primárias

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
ENERGIA SOLAR
Termelétrica
Para a energia solar termelétrica com concentração de radiação, até que o custo das plantas de CSP (concentração solar termelétrica) comece a diminuir, não serão produzidas em larga escala para competir com o mercado de células fotovoltaicas.
A tecnologia solar termelétrica tem aplicação principalmente nas usinas de maior porte na geração centralizada de energia.
Outra limitação encontrada é que a geração de eletricidade encontra-se restrita aos períodos de exposição à luz do sol.
luz do sol
Área de concentração maior que a área de absorção
Área de concentração igual à área de absorção

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Atividades Propostas
Próximas Atividades
✓ Levantamento de Informações sobre Eng. Materiais Aplicáveis a Energia
✓ Elaboração do Texto
✓ Desenvolvimento de Resultados
✓ Elaboração de Apresentação para TE/AE
✓ Reunião de Apresentação de resultados
✓ Ajustes do trabalho para o formato de artigo

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Obrigada!
Thaís Luzia Costa Vidigal
Estudante de Engenharia de Materiais
Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig
Telefone: 55 (31) 3506-2667
thais.vidigal@cemig.com.br
CEFET-MG
CEMIG

Mapeamento energético
Atualização - 2014


CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
TEAE – Gerência de Alternativas Energéticas
Formas primárias
Processo
Energias de uso final
Tecnologias disponíveis
Tecnologias disponíveis em médio prazo
Tecnologias disponíveis em longo prazo
Formas de energia intermediárias
Uso final
Transformaçã
o

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Energia Geotérmica
Detalhamento da tecnologia e
dos custos envolvidos.

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Energia Geotérmica
Geo – Terra; Térmica – Calor.
• A energia geotérmica pode ser definida como a energia proveniente do interior da Terra, vinda do calor do núcleo e principalmente do magma.
• Magma – Rocha fundida no interior da terra, encontrada entre 15 e 150km de profundidade e com temperatura entre 650 e 1200 °C.
• O magma aquece as rochas mais próximas da superfície, que por sua vez aquecem a água que ali se encontra ou que pode ser inserida em reservatórios artificiais para o aquecimento.
• Recursos geotérmicos são classificados pela sua entalpia, respeitando os intervalos de temperatura:
• Baixa - até 90°C
• Média - 90°C a 150°C
• Alta – Acima de 150°C
(MUFFLER, P. and CATALDI, R., 1978).

Formas de Utilização

3 Principais formas de utilização;

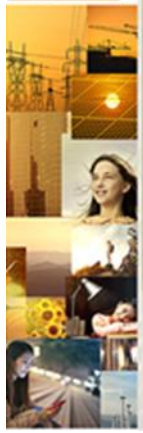
- Utilização Direta
- Bombas de Calor Geotérmicas
- Centrais Geotérmicas

(GEOHOTSPOT, 2012).

Utilização Direta

- Baixa ou Média Entalpia
- Aquecimento de água para uso em piscinas, chuveiros, indústrias, etc.
- Água quente do poço é tubulada, chegando em um trocador de calor, aquecendo a água que será utilizada
- Antigamente era usado a água diretamente do poço, o que gerava três principais problemas:
  - Água do poço não era reposta, reduzindo o tempo de aproveitamento geotérmico do local;
  - Falta de sustentação do solo, podendo haver afundamento do local;
  - Água não é 100% limpa, pode existir a presença de materiais tóxicos ou impróprios para uso humano.

(SEED, 2014; ENERGIAS ALTERNATIVAS WEBNODE, 2014; BCDJMENERGIA BLOGSPOT, 2009)



Bombas de Calor Geotérmicas

- A temperatura do solo se estabiliza entre 30 e 122 metros abaixo da superfície aproximadamente em temperaturas de 7°C a 21°C.
- Funciona do mesmo modo que na utilização direta, porém é usado para aquecimento e resfriamento de ambiente.
- Calor removido do ambiente pode ser usado para aquecimento de água.
- Sistema possui a vantagem de ser usado em qualquer época do ano, no verão para resfriamento e no inverno para aquecimento, além de não contaminar o solo, pois a água é reinjetada após o uso.

(SEED, 2014; ENERGIAS ALTERNATIVAS.WEBNODE, 2014; BCDJMENERGIA.BLOGSPOT, 2009)

Centrais Geotérmicas

- Energia contida no subsolo é aproveitada para a geração de energia elétrica.
- Aproveitamento ocorre principalmente de três formas, mas a geração de energia ocorre apenas de uma forma, semelhante à uma usina termoelétrica.

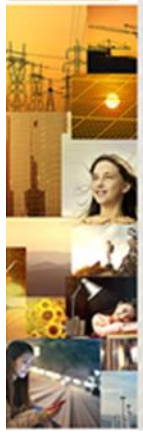
O aproveitamento pode ser:

- Em local que haja apenas o calor disponível, sendo criado um reservatório artificial no subsolo.
- Em local que se tenha disponível água para ser utilizada diretamente ou para aquecimento de um fluido de menor ponto de ebulição.
- Em local onde é possível obter vapor direto do solo com pressão suficiente para mover a turbina.

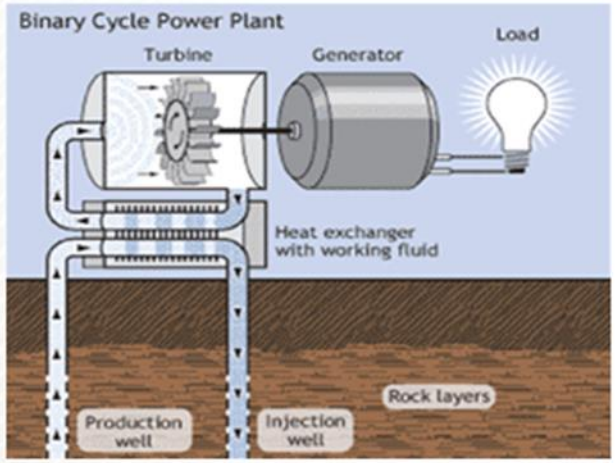
(SEED, 2014)

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.



Usina de ciclo binário

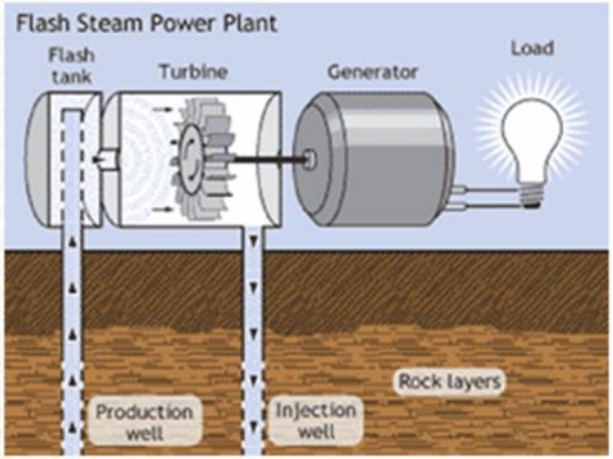


(SEED, 2014).

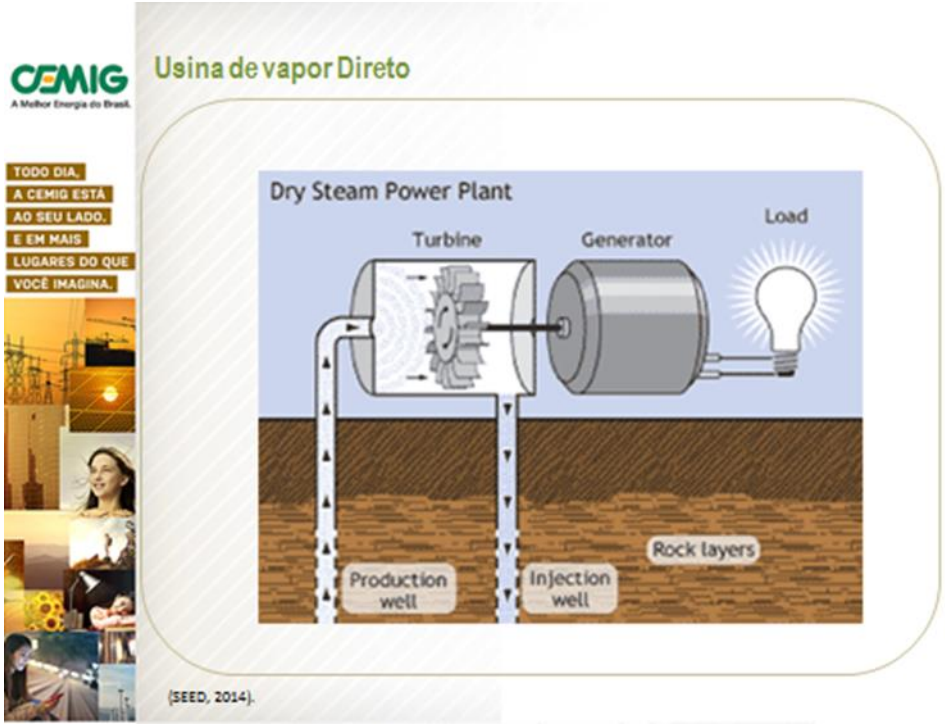
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.

Usina de vapor em *flash*



(SEED, 2014).


CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Usina de vapor Direto
Dry Steam Power Plant
Turbine
Generator
Load
Rock layers
Production well
Injection well
(SEED, 2014).

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Usina de vapor direto "The Geysers"
A Geothermal Power Plant
Maior usina do mundo em funcionamento - 1517 MW INSTALADOS
Produz cerca de 950 MW em média
(THE GEYSERS, 2014).

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.

Usina de vapor direto "The Geysers"

(THE GEYSERS, 2014).

Aspectos Positivos

- Energia considerada limpa por ter emissão praticamente nula de gases poluentes.
- Pode ser usada em comunidades isoladas sem necessidade de conexão ao sistema elétrico.
- Pode contribuir com o crescimento da região em que a tecnologia será implantada.
- Área de instalação da usina é pequena, em média 400 m².
- Pode produzir energia 24 horas por dia e independente de fatores climáticos externos.
- Baixo custo de operação e do uso do combustível.

(GEOHOTSPOT, 2012; ENERGIAS EVOLUTIVAS BLOGSPOT, 2014; INFORMATION FOR ACTION, 2014; BCDJMENERGIA BLOGSPOT).

Potencial Mundial

- É aproveitada em 24 países para a geração de energia elétrica.
- Potência total instalada de 10715 MW em todo o mundo.

Países com maiores instalações:

- EUA – 3094 MW
- Filipinas – 1904 MW
- Indonésia – 1197 MW
- México – 958 MW
- Itália – 843 MW

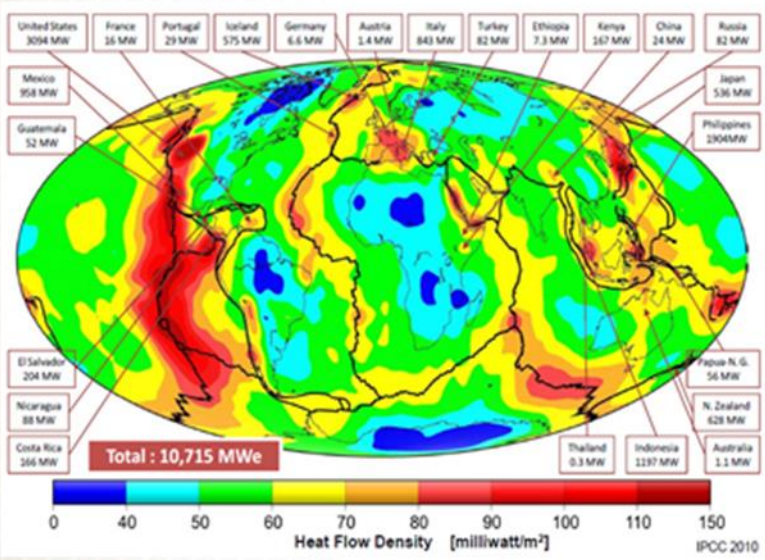
Já possuem números consideráveis instalados

- Nova Zelândia – 628 MW
- Islândia – 575 MW
- Japão – 536 MW

(CONHEÇA ENERGIA GEOTÉRMICA BLOGSPOT, 2013).

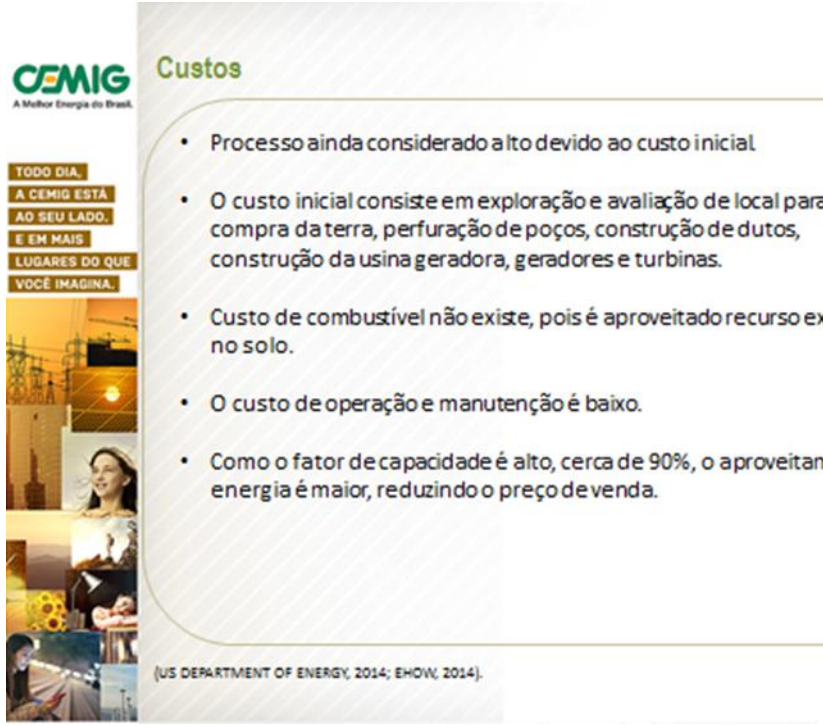
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.

Potencial Mundial



(CONHEÇA ENERGIA GEOTÉRMICA BLOGSPOT, 2013).

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Potencial no Brasil
• Potencial no Brasil é baixo.
• Não existe potencial para geração de energia elétrica.
• A energia geotérmica é utilizada apenas na indústria e para lazer.
• Caldas Novas – GO e Araxá – MG.
(IBGE, 2010).



Custos

- Processo ainda considerado alto devido ao custo inicial.
- O custo inicial consiste em exploração e avaliação de local para usina, compra da terra, perfuração de poços, construção de dutos, construção da usina geradora, geradores e turbinas.
- Custo de combustível não existe, pois é aproveitado recurso existente no solo.
- O custo de operação e manutenção é baixo.
- Como o fator de capacidade é alto, cerca de 90%, o aproveitamento da energia é maior, reduzindo o preço de venda.

(US DEPARTMENT OF ENERGY, 2014; EHOW, 2014).

Custos

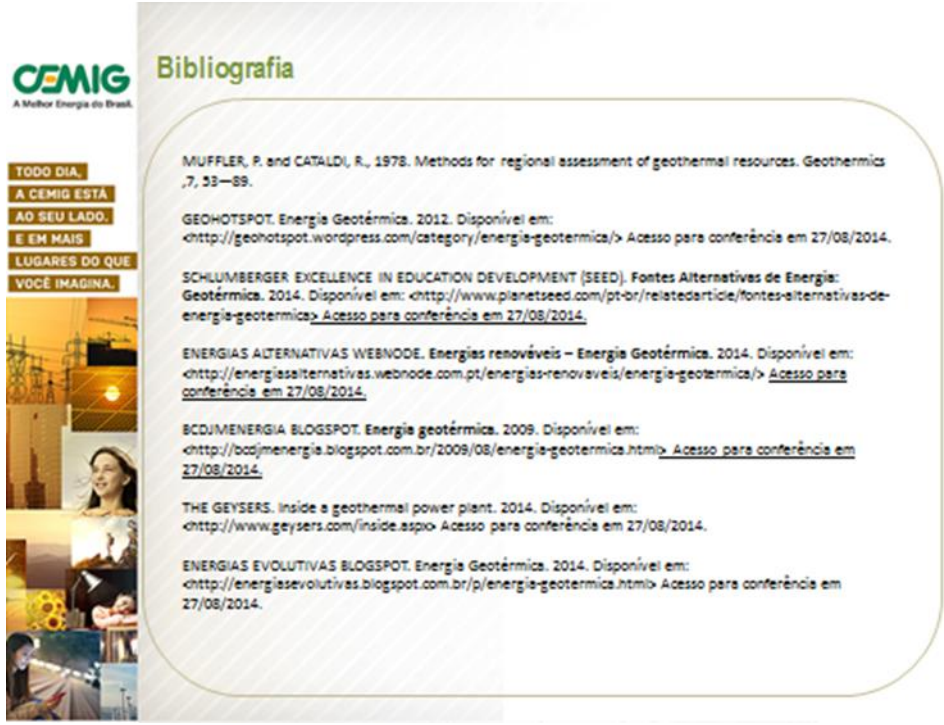
- Custo Inicial – Cerca de US$ 2500,00 por kW instalado.
- Para uma usina de pequeno porte o valor pode ser maior, sendo de US$ 3000,00 até US$ 5000,00 aproximadamente
- Custo de operação e manutenção varia de US$ 0,01 a US$ 0,03 por kW instalado.
- Para a energia gerada, o custo gira em torno de US$ 0,05 e US$ 0,08 por kWh gerado.

Comparação de custos de energia	
Tipo de recurso	Custo médio (centavos de US$ por kWh gerado)
Hidrelétrica	2 – 5
Nuclear	3 – 4
Carvão	4 – 5
Gás Natural	4 – 5
Vento	4 – 10
Geotérmica	5 – 8
Biomassa	8 – 12
Célula de Hidrogênio	10 – 15
Solar	15 – 32

(US DEPARTMENT OF ENERGY, 2014; EHOW, 2014).

Conclusões

- Energia eficiente e não poluente.
- Custo inicial alto, o que dificulta o investimento e aumenta o prazo de retorno.
- É preciso que as tecnologias de perfuração sejam aprofundadas e barateadas.
- Energia importante para ampliação e diversificação da matriz energética mundial.
- Possibilidade de mais de um uso final, sendo ele para geração de energia elétrica, aquecimento ou resfriamento de água e ambientes que para serem feito hoje utilizam energia elétrica.
- Tecnologia não tem condições de ser aproveitada no Brasil devido ao baixo potencial existe.
- Em alguns lugares do mundo já possui participação importante na matriz energética do país



Bibliografia

MUFFLER, P. and CATALDI, R., 1978. Methods for regional assessment of geothermal resources. Geothermics ,7, 53—89.

GEOHOTSPOT. Energia Geotérmica. 2012. Disponível em: <http://geohotspot.wordpress.com/category/energia-geotermica/> Acesso para conferência em 27/08/2014.

SCHLUMBERGER EXCELLENCE IN EDUCATION DEVELOPMENT (SEED). **Fontes Alternativas de Energia: Geotérmica.** 2014. Disponível em: <http://www.planetseed.com/pt-br/relatedarticle/fontes-alternativas-de-energia-geotermica> Acesso para conferência em 27/08/2014.

ENERGIAS ALTERNATIVAS WEBNODE. **Energias renováveis – Energia Geotérmica.** 2014. Disponível em: <http://energiasalternativas.webnode.com.pt/energias-renovaveis/energia-geotermica/> Acesso para conferência em 27/08/2014.

BCDJMENERGIA BLOGSPOT. **Energia geotérmica.** 2009. Disponível em: <http://bcdjmenergia.blogspot.com.br/2009/08/energia-geotermica.html> Acesso para conferência em 27/08/2014.

THE GEYSERS. Inside a geothermal power plant. 2014. Disponível em: <http://www.geysers.com/inside.aspx> Acesso para conferência em 27/08/2014.

ENERGIAS EVOLUTIVAS BLOGSPOT. Energia Geotérmica. 2014. Disponível em: <http://energiasevolutivas.blogspot.com.br/p/energia-geotermica.html> Acesso para conferência em 27/08/2014.

Bibliografia

INFORMATION FOR ACTION. **Energia Geotérmica.** 2014. Disponível em: <http://www.information.org/newIFA/index.php?main=po_energy_geothermal&lang=portuguese&countries=menus_countries&s=Energy> Acesso para conferência em 27/08/2014.

CONHEÇA ENERGIA GEOTÉRMICA BLOGSPOT. **Energia Geotérmica no Mundo.** 2013. Disponível em: <http://conhecaenergiageotermica.blogspot.com.br/2013/09/energia-geotermica-no-mundo.html> Acesso para conferência em 27/08/2014.

IBGE. **Atlas nacional do Brasil Milton Campos/IBGE.** 2010. Disponível em <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv47603.pdf> Acesso para conferência em 27/08/2014.

US DEPARTMENT OF ENERGY. **Geothermal FAQS.** 2014. Disponível em <http://energy.gov/eere/geothermal/geothermal-faqs> Acesso para conferência em 27/08/2014.

EHOW. **Fatores econômicos da energia geotérmica.** 2014. Disponível em: <http://www.ehow.com.br/fatores-economicos-energia-geotermica-lista_240856/> Acesso para conferência em 27/08/2014.

INFORMATION FOR ACTION. Energia Geotérmica. 2014. Disponível em: <http://www.information.org/newIFA/index.php?main=po_energy_geothermal&lang=portuguese&countries=menus_countries&s=Energy> Acesso para conferência em 27/08/2014.

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Obrigado!
Gabriel Macedo Rodarte Silva
Estagiário
Gerencia de Alternativas Energéticas
gabriel.macedo@cemig.com.br

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA ELÉTRICA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM MG

Rodrigo Moraes Belém – Estagiário de Engenharia Bioenergética

Introdução
• O Biogás é um exemplo de bicombustível que agrega ganhos ambientais, pois aproveita resíduos em seu processo de produção e reduz o potencial tóxico das emissões de metano, e reduções de custos, pois a sua conversão energética permite a redução do consumo de energia da rede.
• Além disso, tem como subproduto do seu processo de produção os resíduos sólidos que podem ser aproveitados como adubo orgânico e o efluente líquido que pode ser aproveitado como biofertilizante.
Historia
O primeiro biodigestor é datado de 1857 e foi desenvolvido na Índia.
Solução
Hoje o biogás já é uma solução para o abastecimento energético em zonas rurais.
Renovável
Transforma resíduos orgânicos agrícolas, urbanos e industriais em biocombustível

Definições de esgoto sanitário e estações de tratamento de esgoto

"Despejo líquido constituído de esgotos domestico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária"

Uma Estação de Tratamento de Esgoto é uma estrutura designada a tratar o esgoto doméstico e industrial para depois retorna-los para os corpos d'água com um nível de poluição (Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO) dentro do limite estabelecido pela legislação vigente para o meio receptor. São compostas normalmente por um tratamento preliminar, seguido do tratamento primário, tratamento secundário e, por fim, o tratamento terciário ou pós tratamento.

Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar consiste de dispositivos usados na entrada/chegada do esgoto na ETE, a fim de reter sólidos grosseiros e remover a areia (sólidos granulares) presente nesse esgoto.

Para a retirada dos sólidos grosseiros, são, normalmente, utilizadas grades que retêm o material cujo tamanho é maior do que o espaçamento entre suas barras. Fica a critério da ETE utilizar uma ou mais grades com diferentes espaçamentos entre suas barras. A retirada dos sólidos retidos nas grades pode ser feita de forma manual ou mecânica.

A remoção da areia (sólidos granulares) ocorre nos desarenadores, por meio de sedimentação. Essa areia sedimentada deve ser retirada dos tanques sempre que o material acumulado ocupar a metade da altura ou 2/3 do comprimento da câmara de armazenamento. Já existem métodos mecanizados para essa retirada de material acumulado, como, por exemplo, bombas parafuso.

Gradeamento manual (CESA-UFRJ)

Gradeamento mecanizado (D. Industry)

Desarenadores (Sigma)

Sistema de limpeza de um desarenador (Sigma)

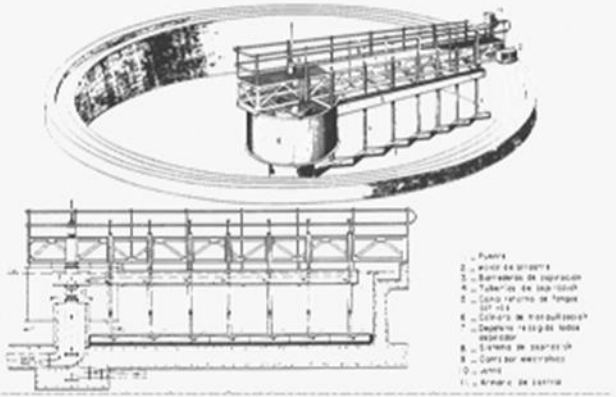
Tratamento Primário

O tratamento primário consiste na separação da matéria poluidora da água através da sedimentação, normalmente, em decantadores, que são tanques pelo qual o esgoto escoa lentamente permitindo-se a sedimentação dos sólidos em suspensão.

A matéria acumulada no fundo dos decantadores é denominada lodo primário bruto. Sua retirada pode ser feita por tubulações ou raspadores mecanizados.

Decantador circular vazio (UNAD)

Às vezes é necessária a adição de uma substancia coagulante, devido a algumas particulas que não possuem peso nem tamanho necessário para precipitarem, para uni-las e criar partículas maiores e mais pesadas que irão sedimentar pela ação da gravidade.



Esquema de um decantador circular (Millarium)

Tratamento Secundário

O tratamento secundário consiste na remoção da carga poluidora (DBO dissolvida) através da ação de micro organismos em processos biológicos naturais. Para esta etapa existem diversas tecnologias de tratamento disponíveis, e vai depender da demanda da ETE para definir qual(is) usar, podendo em diversos casos usar uma combinação com dois ou mais sistemas. São elas:

Lagoas Anaeróbias: Recebem mais esgoto por área e possuem maior profundidade que as demais. Nelas ocorrem, simultaneamente, os processos de sedimentação e digestão anaeróbia, na ausência de oxigênio. A sua eficiência pode alcançar entre 50% e 70%. São utilizadas em conjuto com outras lagoas. Profundidade de 3 a 5 metros.

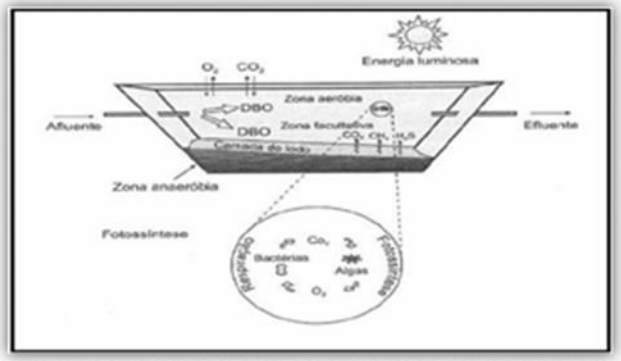
Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa em Urupês (Águas do Brasil)

Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa em Tanabi (Águas do Brasil)

Tratamento Secundário

Lagoas Facultativas: dependem de fenômenos estritamente biológicos. Há necessidade da uma boa radiação solar. Profundidade de 1,5 a 2 metros.

Lagoas Aeradas: mesmo processo da lagoa facultativa, porém o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos ao invés da fotossíntese. Requer área e TRH menores.



Esquema de uma Lagoa Facultativa (Ebah)

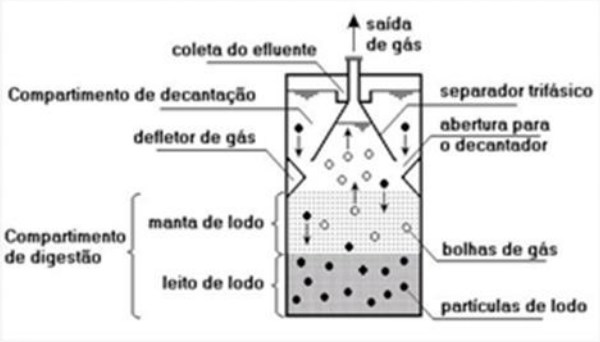
Lagoa aerada seguida de Lagoa de Sedimentação na ETE de Tambaú

Tratamento Secundário

Lagoas de Sedimentação: retêm os sólidos, promovendo a sua estabilização anaeróbia no fundo da lagoa, de modo a se obter um efluente final com baixos teores de DBO e de sólidos em suspensão. Funcionam praticamente como um decantador onde não existe remoção contínua do lodo sedimentado. É usada normalmente após uma lagoa aerada de mistura completa.

Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (RAFA ou UASB): promove a decomposição da matéria orgânica encontrada nos esgotos sanitários pela ação de bactérias anaeróbias contidas no manto de lodo formado no fundo do reator. Ao passar pelo equipamento, a carga orgânica é consumida pelos microrganismos, gerando gás metano, lodo e água.

Lagoa aerada seguida de Lagoa de Sedimentação na ETE Jardim Esperança em Cabo Frio-RJ (CONEN)



Tratamento Terciário ou Pós Tratamento

O tratamento terciário, ou pós-tratamento, tem o objetivo de remover ainda mais os contaminantes restantes no esgoto previamente tratado, como nutrientes e organismos patogênicos. Pode ser feito através de:

Lagoas de Polimento/Maturação: servem para receber e melhorar a qualidade dos efluentes de outros processos de tratamento. Removem organismos patogênicos, sólidos em suspensão e nutrientes. Profundidade pequena, no máximo 1m. Normalmente, lagoas de polimento são usadas após o tratamento em reatores anaeróbios.

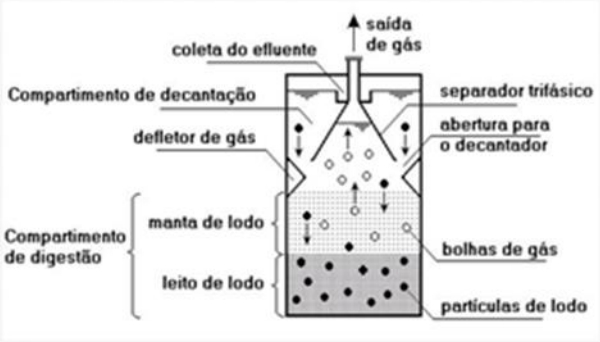
Lagoas de Maturação na ETE Arruda

Tratamento Secundário

Lagoas de Sedimentação: retêm os sólidos, promovendo a sua estabilização anaeróbia no fundo da lagoa, de modo a se obter um efluente final com baixos teores de DBO e de sólidos em suspensão. Funcionam praticamente como um decantador onde não existe remoção contínua do lodo sedimentado. É usada normalmente após uma lagoa aerada de mistura completa.

Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (RAFA ou UASB): promove a decomposição da matéria orgânica encontrada nos esgotos sanitários pela ação de bactérias anaeróbias contidas no manto de lodo formado no fundo do reator. Ao passar pelo equipamento, a carga orgânica é consumida pelos microrganismos, gerando gás metano, lodo e água.

Lagoa aerada seguida de Lagoa de Sedimentação na ETE Jardim Esperança em Cabo Frio-RJ (CONEN)



Biogás

O que é

Mistura gasosa obtida através da digestão anaeróbia da matéria orgânica

Composição Química do Biogás	Peso Específico (kg/Nm³)	Pode Calorífico Inferior (kcal/kg)
10% CH_4, 90% CO_2	1,8393	465,45
40% CH_4, 60% CO_2	1,4643	2.336,52
60% CH_4, 40% CO_2	1,2143	4.229,98
65% CH_4, 35% CO_2	1,1518	4.851,14
75% CH_4, 25% CO_2	1,0268	6.255,01
95% CH_4, 05% CO_2	0,7768	10.469,80
99% CH_4, 01% CO_2	0,7268	11.661,02

Composição

CH4 (55% a 70%), CO2 (30% a 45%) e pequenas quantidades de H2S, H2, N2 e O2.

Onde existe

pode ser produzido de forma antrópica, em aterros sanitários e em usinas de biogás, e de forma natural, em qualquer lugar que não exista a presença de oxigênio atmosférico e exista a presença de matéria orgânica, como em fundos de corpos d'água, pântanos e intestino de animais.

Fatores intervenientes na produção do biogás

Segundo Costa et al., 2001, a quantidade de biogás produzido varia sob a influencia dos seguintes fatores:

- Composição dos resíduos: quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior o seu potencial de geração de metano;
- Ambiente anaeróbio: para que haja a produção de biogás, a matéria orgânica deve sofrer decomposição em ambiente sem oxigênio. No caso de tratamento de esgotos, o lodo deve permanecer em biodigestores;
- Umidade: é essencial para a vida das bactérias decompositoras, depende da umidade inicial do resíduo e da água produzida na decomposição;
- Temperatura: as bactérias metanogênicas atingem maior produtividade na chamada fase "mesófila", compreendida entre 30° - 40°C;
- pH: as bactérias metanogênicas atingem maior produtividade com o pH entre 6,8 - 7,2, tendo o pH 7 (neutro) como o ideal.
- Relação carbono/nitrogênio (C/N): deve ter o valor compreendido entre 30 – 35, acima deste valor, o processo é pouco eficaz, já que as bactérias não podem utilizar todo o carbono disponível.
- A presença de materiais tóxicos, detergentes, remédios e outros materiais químicos no biodigestor, mesmo que em baixas quantidades, podem causar a intoxicação e morte das bactérias, atrapalhando assim a produção de biogás.

Como obter o biogás em ETEs

O biogás proveniente de resíduos de Estações de Tratamento de Esgoto (lodo de esgoto) é obtido através da sua digestão anaeróbica em digestores. Podemos dividi-los em duas categorias:

Digestores Contínuos: operam com cargas diárias de matéria orgânica que se movimenta por meio de carga hidráulica dentro do biodigestor. O tempo de retenção varia conforme o volume de gás a produzir, o grau de digestão pretendido e a temperatura de funcionamento.

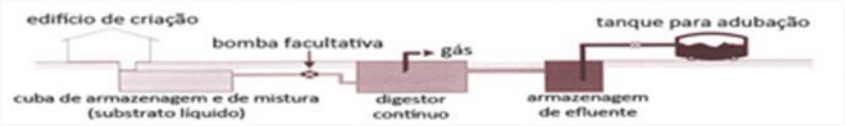


Diagrama esquemático do biodigestor contínuo (UNIFEI)

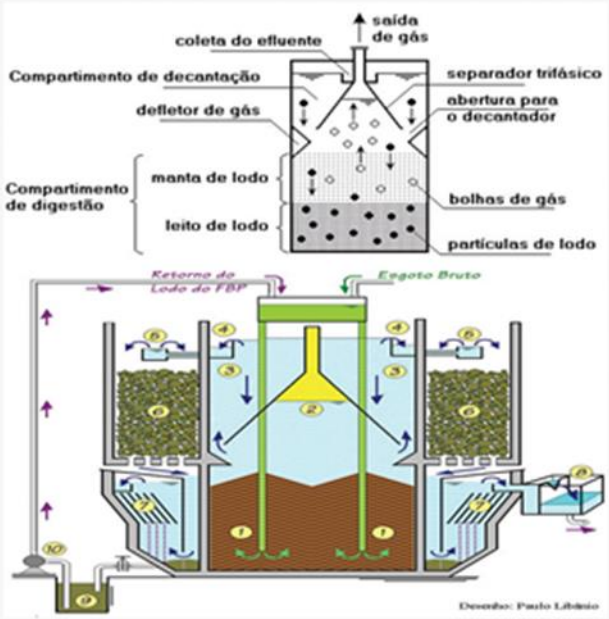
Digestores Descontínuos (Batelada): a matéria orgânica é inserida toda de uma só vez e só é retirada após a conclusão do processo de digestão anaeróbica, quando houver um declínio na produção de biogás.

Diagrama esquemático do biodigestor descontínuo (UNIFEI)

Como obter biogás em ETE

O digestor mais usado no tratamento de esgoto no Brasil é o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA – ou *Upward-Flow Anaerobic Sludge Blanket* – UASB). Sua coluna ascendente consiste de uma zona de digestão, uma zona de sedimentação, e o dispositivo separador de fases gás-sólido-líquido.

O esgoto entra no reator pela parte inferior e segue uma trajetória ascendente até encontrar a manta de lodo, onde ocorre a mistura, a biodegradação e a digestão anaeróbia do conteúdo orgânico, tendo como subproduto a geração de biogás. O biogás segue em trajetória ascendente em direção ao separador trifásico, saindo pelo dispositivo de coleta de gases. Já o esgoto segue para o compartimento de decantação, onde terá sua velocidade progressivamente reduzida na abertura deste compartimento para que as partículas sólidas possam ser sedimentadas na superfície inclinada do separador de fases. Em um determinado momento, o peso das partículas sedimentas se tornará maior do que o atrito da superfície inclinada e, então, deslizarão de volta para o compartimento de digestão (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).



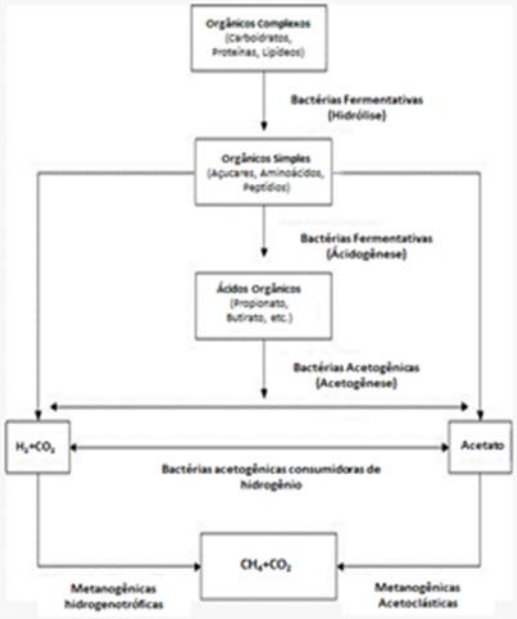
Digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbio consiste na degradação e estabilização da matéria orgânica em meio sem a presença de oxigênio, levando a formação de metano, produtos inorgânicos e biofertilizante. O processo pode ser classificado em quatro estágios, são eles:

1. Hidrólise
2. Acidogênese
3. Acetogênese
4. Metanogênese

Na primeira fase, as bactérias hidrolíticas fermentativas são responsáveis pela solubilização da matéria orgânica, quebrando os polímeros e os transformando em compostos menores. As proteínas dão origem aos aminoácidos, os carboidratos complexos formam monômeros de açúcar e as gorduras formam os ácidos graxos de cadeia longa (VITORATTO, 2004).

Após a hidrólise, ocorre a acidogênese, onde estas mesmas bactérias atuam na fermentação dos produtos obtidos, formando compostos orgânicos ainda menores, como ácidos fórmico, acético, propiônico, butírico, valérico, láctico, etanol, amônia e gás carbônico, sulfídrico e hidrogênio (VITORATTO, 2004).

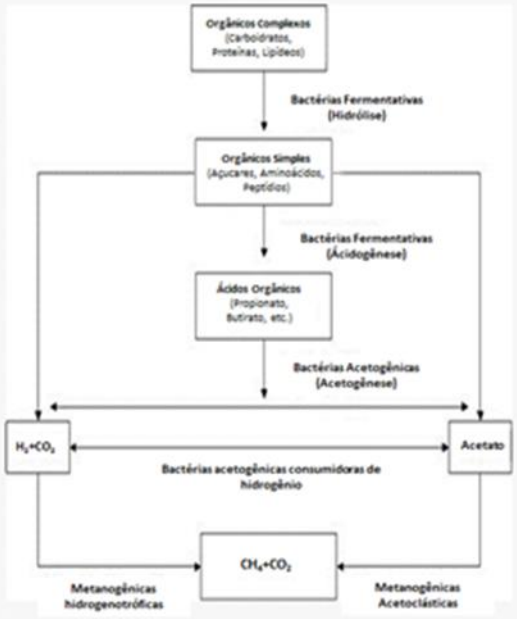


Digestão anaeróbia

Na fase de acetogênese, as bactérias acetogênicas metabolizam as substancias formadas pelas bactérias hidrolíticas fermentativas, formando ácido acético, gás carbônico e hidrogênio. Já as bactérias homoacetogênicas, ao contrário das acetogênicas, são consumidoras de oxigênio e produzem acetato a partir do dióxido de carbono (VITORATTO, 2004).

Por fim, ocorre a metanogênese, onde as bactérias metanogênicas formam o metano através da transformação do dióxido de carbono, hidrogênio e acetato. Essas bactérias são divididas em dois sub grupos, tendo como critério de divisão o substrato utilizado como fonte de energia (OLIVEIRA, 2009). São elas:

- Hidrogenotróficas: utilizam o hidrogênio e o carbono para formar o metano
- Acetoclásticas: utilizam o acetato para formar o metano



Purificação do biogás

Dependendo de qual for a aplicação do biogás produzido, será necessário submete-lo a um processo de purificação, para a retirada de substâncias não combustíveis que tornam o processo de queima menos eficiente, como água, gás carbônico e o gás sulfídrico, que é altamente corrosivo. Essas substâncias entram no lugar do combustível no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada.

Além de diminuir a eficiência do processo de combustão, essas substâncias podem acarretar combustão incompleta, perda de potencia, falha de alimentação, corrosão precoce dos motores, diluição do gás, impacto no PCI e no comportamento da queima.

Impureza	Descrição Geral	Detalhes
Água	Adsorção	Sílica Gel
		Peneira molecular
		Alumina
	Absorção	Etileno glicol
		(temperatura -6,7°C)
		Selexol
	Refrigeração	Resfriamento a 2°C
Hidrocarbonetos	Adsorção	Carvão ativado
	Absorção	Óleo leve
		Etileno glicol
		Selexol
		(temperatura entre -6,7°C e -55,9°C)
	Combinação	Refrigeração com Etileno glicol e adsorção em carvão ativado
CO_2 e H_2S	Absorção	Solventes orgânicos
		Selexol
		Rúor
		Rectisol
		Soluções de sais alcalinos
		Potássio quente e potássio quente inibido
		Alcanolaminas
		Mono, di - tri - etanol amina
		Diglicolamina
		Ucarsol-CR
	Adsorção	Peneiras moleculares
		Carvão ativado
	Separação por membranas	Membrana de fibra oca
Siloxina	Adsorção	Carvão ativado

Remoção da umidade

O grau de umidade aceitável irá depender do posterior uso do biogás e da tecnologia de conversão adotada. O bom funcionamento das partes internas da microturbina (bicos injetores, câmara de combustão, paletas da turbina) pode ser comprometido com a umidade, além de provocar o empobrecimento do Poder Calorífico do biogás (OLIVEIRA, 2009).

Para a retirada da umidade, o gás é resfriado para condensar a água nele presente e depois aquecido, formando um gás seco cuja temperatura é maior do que seu ponto de orvalho (VELÁZQUEZ et al.).

Remoção do gás carbônico

A presença do gás carbônico no gás também pode causar o empobrecimento do Poder Calorífico do biogás. Quando necessária, a remoção do CO_2 é feita pela adsorção física do CO_2 na água. Porém, este processo consome uma quantidade elevada de água e depende muito da temperatura e da pressão do gás (OLIVEIRA, 2009).

A baixas pressões, somente uma pequena quantidade de CO2 é retirada. A altas pressões, a água consegue absorver uma grande quantidade de CO2, no entanto, ela se torna muito ácida e consequentemente corrosiva, se tornando um problema para o descarte em corpos d'água (OLIVEIRA, 2009).

Também podemos eliminar o gás carbónico, por lavagem do biogás com hidróxido de cálcio, e o sal resultante (carbonato de cálcio ou calcáreo), utilizado para correção do pH de solos ácidos.

Remoção do gás sulfídrico e gás carbônico por hidróxido de sódio (NaOH), potássio (KOH) ou calcio [$Ca(OH)_2$]

Ao entrar em contato com hidróxidos de sódio, potássio ou cálcio, o gás carbônico sofre uma reação irreversível, formando bicarbonato (equações 2 e 3). Se houver tempo de reação suficiente, o gás sulfídrico também será removido (equação4) (OLIVEIRA, 2009).

$$2\,NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O \quad (2)$$

$$Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O \leftrightarrow 2\,NaHCO_3 \quad (3)$$

$$H_2S + Na_2CO_3 \rightarrow NaHS + NaHCO_3 \quad (4)$$

Remoção do gás sulfídrico por óxido de ferro

A retirada do gás sulfídrico é necessária devido ao seu alto poder corrosivo, tanto na forma gasosa ou solubilizado em água. Pode também comprometer o bom funcionamento das partes internas de secadores, compressores e turbinas.

A remoção é feita passando o biogás por uma torre com preenchimento de óxido de ferro III (Fe_2O_3) e aparas de madeira. O gás é injetado pela base da torre e, conforme vai percorrendo todo o caminho reage com o óxido de ferro, que retém o gás sulfídrico. Para a regeneração do óxido de ferro, basta expor o enchimento ao ar (OLIVEIRA, 2009). As equações (5) e (6), respectivamente, representam este processo:

$$Fe_2O_3 + 3\,H_2S \rightarrow Fe_2S_3 + 3\,H_2O \quad (5)$$

$$2\,Fe_2O_3 + 3\,O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + 3\,S_2 \quad (6)$$

O processo é simples e barato. Estima-se que 1 m³ de enchimento com óxido de ferro possa remover cerca de 100 kg de enxofre (OLIVEIRA, 2009).

Tecnologias de conversão

A energia química contida nas moléculas do biogás é convertida em energia mecânica através de um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica ativa um gerador que, por sua vez, converte esta energia mecânica em energia elétrica.

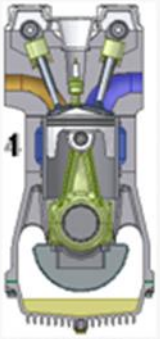
Existem diversas tecnologias de conversão do biogás em energia elétrica atualmente, se destacando os motores de combustão - Ciclo-Otto e as microturbinas e turbinas a gás.

Tecnologias	Potência	Rendimento	Emissões de NOx
Motores a Gás	30 kW – 20 MW	30% – 40%	250 ppm – 3.000 ppm
Turbinas a Gás (Médio Porte)	500 kW – 150 MW	20% - 30%	35 ppm – 50 ppm (gás de aterro)
Microturbinas (Pequeno Porte)	30 kW – 1 MW	24% - 28%	< 9 ppm

Motores de combustão interna – Ciclo Otto

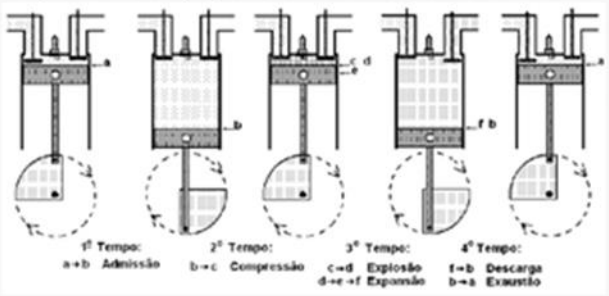
De acordo com Schulz, 2009, o Ciclo-Otto se constitui de 4 etapas:

1. Compressão adiabática
2. Aquecimento isométrico de calor
3. Expansão adiabática
4. Rejeição isométrica de calor



Na primeira etapa, denominada admissão, a válvula de admissão é aberta permitindo a entrada da mistura de ar e combustível conforme o pistão vai se movendo de forma a aumentar o espaço na câmara de combustão.

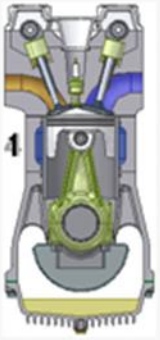
Na segunda etapa, denominada compressão, o pistão comprime a mistura de ar e combustível e fecha as válvulas, fazendo com que a mistura fique pressurizada dentro da câmara.

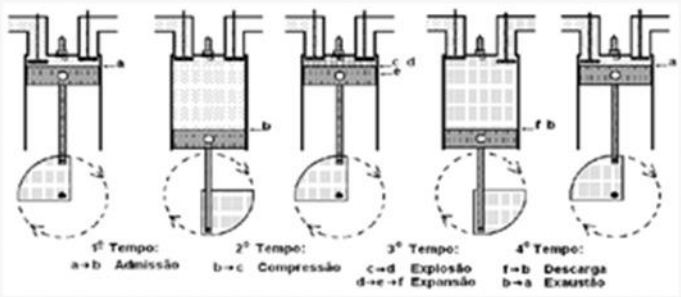


Motores de combustão interna – Ciclo Otto

Na terceira etapa, denominada explosão, a mistura comprimida recebe uma centelha, ou faísca, oriunda da vela de ignição e o pistão é, então, deslocado para baixo devido a explosão e expansão dos gases. As válvulas continuam fechadas.

Na quarta e última etapa, denominada escape, a válvula de escape é aberta e ocorre, então, a exaustão dos gases queimados na explosão pelo movimento do pistão. A partir daí o ciclo se repete continuamente enquanto o motor estiver em funcionamento.



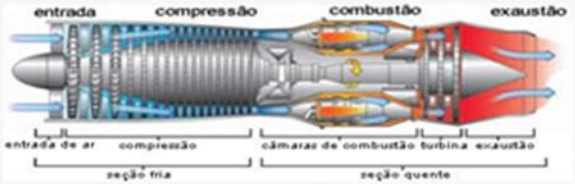


Turbinas a gás

Toda turbina a gás consiste em um compressor, uma câmara de combustão e a turbina, realizando um ciclo denominado Ciclo Brayton.

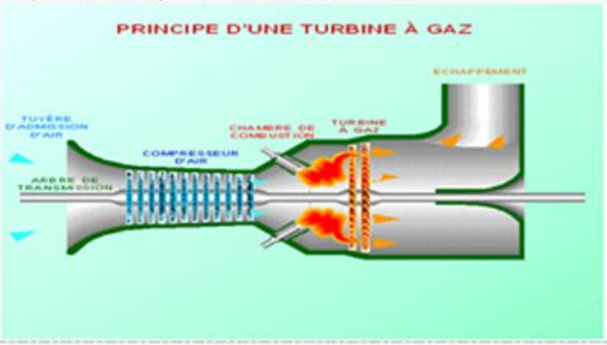
De acordo com Menezes, 2011, o Ciclo Brayton se constitui de 4 etapas:

1. Compressão adiabática e isentrópica
2. Adição de calor
3. Expansão
4. Retirada de calor



Na primeira etapa ocorre a compressão adiabática e isentrópica do ar atmosférico que passa pelo compressor, aumentando sua temperatura e entalpia.

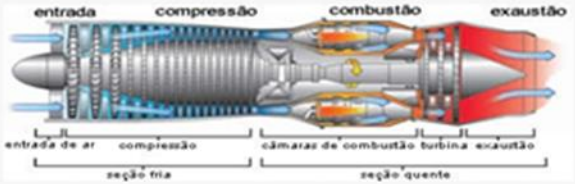
Na segunda etapa, o ar comprimido chega à câmara de combustão, onde se mistura com o combustível possibilitando sua queima e aquecimento. A pressão é constante.

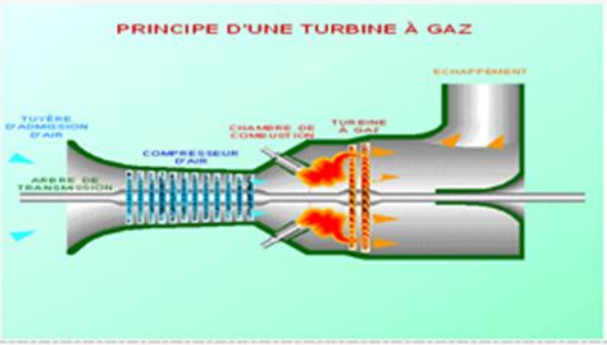


Turbinas a gás

Na terceira etapa, os gases oriundos da câmara de combustão, a alta pressão e temperatura, entram na turbina e se expandem realizando trabalho mecânico.

A quarta etapa se resume na exaustão dos gases da turbina para o meio ambiente, que os esfria.



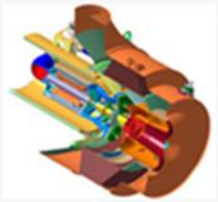


Microturbinas a gás

As microturbinas a gás seguem o mesmo princípio das turbinas a gás de grande porte, ou seja, operam com Ciclo Brayton. A diferença é que elas operam na faixa entre 30 kW e 1 MW.

Em sistemas estacionários, os gases de expansão podem ter suas altas temperaturas aproveitadas em trocadores de calor, caracterizando um ciclo de cogeração.

Capstone C200 (Capstone)



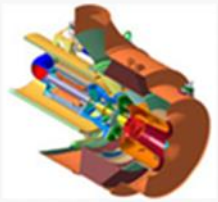
Módulo com 4 microturbinas C200 na ETE Arruda (COPASA)

Microturbinas a gás

As microturbinas a gás seguem o mesmo princípio das turbinas a gás de grande porte, ou seja, operam com Ciclo Brayton. A diferença é que elas operam na faixa entre 30 kW e 1 MW.

Em sistemas estacionários, os gases de expansão podem ter suas altas temperaturas aproveitadas em trocadores de calor, caracterizando um ciclo de cogeração.

Capstone C200 (Capstone)



Módulo com 4 microturbinas C200 na ETE Arruda (COPASA)

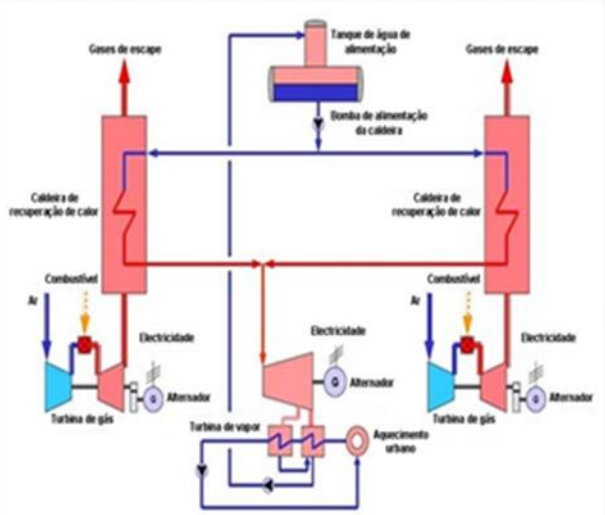
Cogeração – Ciclo a gás

A conversão da energia térmica de um combustível em mais de uma forma de energia útil (calor e eletricidade) é denominada cogeração.

O processo de conversão da energia térmica do biogás em calor pode ser usado em aquecedores a gás, calor de processo, aquecimento de granjas, cocção, secagem de grãos e lodo, iluminação a gás, etc.

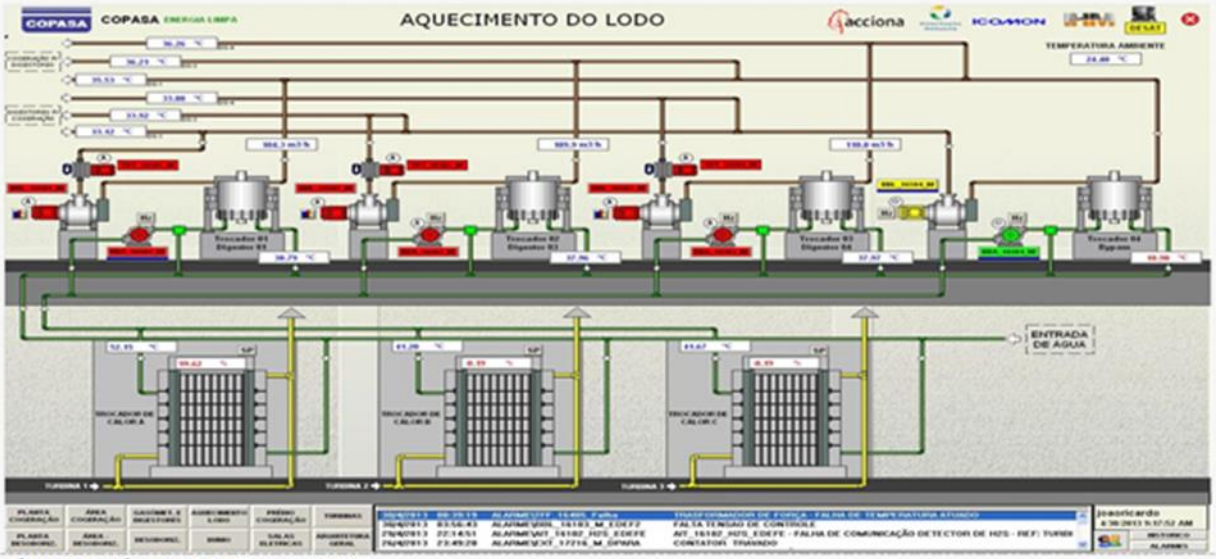
O sistema de ciclo a gás nada mais é do que o aproveitamento dos gases de exaustão de uma turbina ou microturbina a gás. Esses gases saem da turbina com alta temperatura, 380°C a 600°C, e alto conteúdo energético, 50% a 70% da energia do combustível.

Neste sistema, os gases exauridos da turbina a gás são direcionados para uma caldeira de recuperação onde irão produzir vapor. Este vapor pode ser utilizado tanto para produzir energia elétrica, passando por uma turbina a vapor e acionando um gerador (conhecido como ciclo combinado), ou para aquecimento de fluidos térmicos, em trocadores de calor.



Sistema de turbinas a gás em ciclo combinado de cogeração (COGEN)

Cogeração – Ciclo a gás



Sistema de aquecimento de lodo ETE arruda – COPASA.

Cogeração – Ciclo a gás

Sistema de aquecimento de lodo ETE arruda – COPASA.

Cogeração – Ciclo a vapor

O sistema é formado por uma caldeira, turbina, condensador e bomba e realiza o ciclo Rankine. O combustível injetado na caldeira é queimado e gera vapor, que passará pela turbina e acionará o gerador, produzindo energia elétrica. O vapor, ao sair da turbina, passa pelo condensador, retornando ao estado líquido, e é mandado novamente para a caldeira pela bomba. Assim o ciclo se repete.

O vapor gerado na caldeira poderá ser usado também para o aquecimento direto ou processos industriais.

O cenário de Minas Gerais

- Minas Gerais possui 853 municípios e uma população total de 20.479.165 habitantes (IBGE, 2013.).
- De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE de 2008, Minas Gerais possuía 91,7% (781) de seus municípios com rede coletora de esgoto, porém somente 22,7% (194) dos municípios tratavam seu esgoto.
- A COPASA é a principal empresa responsável pela área de saneamento em Minas Gerais, sendo a encarregada pela concessão de serviços de esgoto em 283 municípios mineiros. De acordo com dados da própria COPASA, 236 municípios contam hoje com algum tipo de tratamento de esgoto.
- Minas Gerais tem, hoje, 30 municípios com mais de 100 mil habitantes.

Potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em Minas Gerais – Cenário 1

Neste primeiro cenário, será considerado todos os 853 municípios tratando 100% de seu esgoto e captando o biogás para geração de energia. Ou seja, uma projeção caso todo o estado tratasse seu esgoto e capturasse o biogás dele proveniente para conversão em energia elétrica.

Para o cálculo da produção esperada de biogás (PB) multiplica-se a população total de cada município pela produção de biogás por habitante, que é de 10 L/hab.dia*, e por 365, para a conversão de dias para ano. Por fim, divide-se tudo por 1000 para a conversão de litros para metros cúbicos.

$$PB\left(\frac{Nm^3}{ano}\right) = \frac{População\ (hab) \times Per\ Capita\ de\ Biogás\ (L/hab.dia) \times 365}{1000}$$

A partir daí, temos como calcular o potencial teórico de energia elétrica (PE) disponível caso todo esse biogás captado fosse convertido em eletricidade. Para isso basta multiplicar os valores encontrados de produção teórica de biogás em cada município pelo poder calorífico do biogás e pelo fator de conversão para kWh.

$$PE\ (kWh) = PB\left(\frac{Nm^3}{ano}\right) \times PCB\ \left(\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{Nm^3}}\right) \times Fator\ Conversão\ kWh$$

Por último, foi calculado a potência média que a geração teórica de energia elétrica representa, dividindo o total de cada município primeiro por 365, passando de ano para dias e, por último, por24, passando de dias para horas.

*Produção per-capita de biogás: dado medido pela COPASA

Tabela 1 - Potencial teórico de produção de biogás nos 30 municípios com mais de 100 mil habitantes em MG

Municípios	População	Produção teórica de biogás (Nm³/ano)
Belo Horizonte	2.479.165	9.048.952
Uberlândia	646.673	2.360.356
Contagem	637.961	2.328.358
Juiz de Fora	545.942	1.992.688
Betim	406.474	1.483.630
Montes Claros	385.898	1.408.528
Ribeirão das Neves	315.819	1.152.739
Uberaba	315.360	1.151.064
Governador Valadares	275.568	1.005.823
Ipatinga	253.098	923.808
Sete Lagoas	227.571	830.634
Divinópolis	226.345	826.159
Santa Luzia	213.345	778.709
Ibirité	169.908	620.164
Poços de Caldas	161.025	587.741
Patos de Minas	146.416	534.418
Pouso Alegre	140.223	511.814
Teófilo Otoni	140.067	511.245
Barbacena	132.980	485.377
Sabará	132.636	484.121
Varginha	130.139	475.007
Conselheiro Lafaiete	123.275	449.954
Itabira	115.817	422.732
Araguari	114.970	419.641
Vespasiano	114.365	417.432
Passos	111.651	407.526
Ubá	108.493	395.999
Coronel Fabriciano	108.302	395.302
Muriaé	105.861	386.393
Ituiutaba	102.020	372.373

Fonte: Dados fornecidos pela COPASA

- Belo Horizonte, com uma produção teórica de 9.048.165 Nm³/ano, tem um potencial maior do que as próximas 4 maiores cidades juntas, que somam 8.165.233 Nm³/ano.
- Os 30 municípios, juntos, somam 33.168.890 Nm³/ano de biogás, o que representa 44,13% do potencial teórico de todo o estado de Minas Gerais.

Tabela 2 - Potencial teórico de geração de energia elétrica nos 30 municípios com mais de 100 mil habitantes em Minas Gerais

Municípios	Produção teórica de biogás (Nm³/ano)	Potencial teórico de energia elétrica (kWh/ano)	Potência média (kWh por hora)
Belo Horizonte	9.046.952	62.352.065	7.121
Uberlândia	2.360.356	16.271.929	1.858
Contagem	2.326.556	16.052.715	1.833
Juiz de Fora	1.992.666	13.737.262	1.568
Betim	1.485.630	10.227.914	1.168
Montes Claros	1.408.526	9.710.170	1.108
Ribeirão das Neves	1.152.739	7.946.805	907
Uberaba	1.151.064	7.935.256	906
Governador Valadares	1.005.825	6.933.988	792
Ipatinga	923.606	6.366.556	727
Sete Lagoas	830.654	5.726.262	654
Divinópolis	826.159	5.695.413	650
Santa Luzia	776.709	5.355.300	611
Ibirité	620.164	4.275.315	488
Poços de Caldas	587.741	4.051.796	463
Patos de Minas	554.418	3.654.197	421
Pouso Alegre	511.614	3.526.366	403
Teófilo Otoni	511.245	3.524.440	402
Barbacena	485.377	3.346.113	382
Sabará	484.121	3.337.457	381
Varginha	475.007	3.274.627	374
Conselheiro Lafaiete	449.954	3.101.911	354
Itabira	422.752	2.914.249	333
Araguari	419.641	2.892.956	330
Vespasiano	417.452	2.877.713	329
Passos	407.526	2.809.422	321
Ubá	395.999	2.729.956	312
Coronel Fabriciano	395.502	2.725.152	311
Muriaé	366.393	2.663.731	304
Guaxupé	372.573	2.567.061	293

Fator de conversão kJ para kWh: 0,000278 ; Poder calorífico do biogás: 24.798 kJ/Nm³

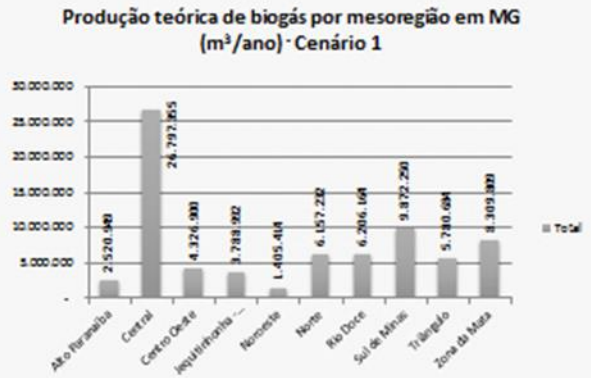
Potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em Minas Gerais – Cenário 1

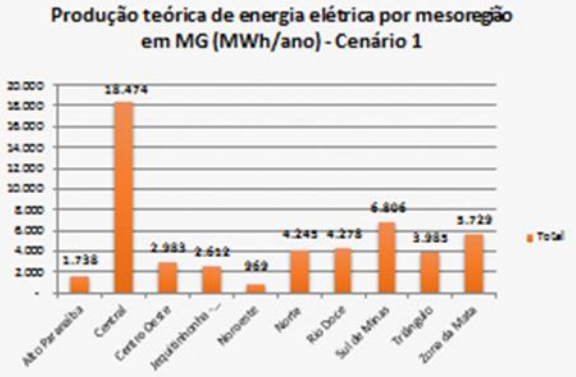
- Ao analisarmos a tabela 3, podemos ver que Belo Horizonte, com 62.382.065 kWh/ano, possui, também, um potencial teórico de energia elétrica maior do que as próximas 4 maiores cidades juntas, que somam 56.289.839 kWh/ano.
- Os 30 municípios, juntos, somam 228.661.150 kWh/ano, o que representa, novamente, 44,13% do potencial teórico de todo o estado de Minas Gerais.
- O potencial teórico total de geração de energia elétrica do estado (tabela disponível no final deste documento) é de 518.180.951 kWh/ano.

De acordo com dados da CEMIG, o valor médio para o consumidor em Minas Gerais é de 122 kWh/mês. Com isso, é possível estimar qual seria a população atendida com a energia gerada.

- O potencial teórico de Belo Horizonte atenderia cerca de 42.611 pessoas, o que representa uma população maior do que a população de 90,9% (775) dos municípios mineiros.
- Já o potencial teórico de todo o estado de Minas Gerais atenderia cerca de 353.949 pessoas, o que representa uma população maior do que a população de 99,3% (847) dos municípios mineiros

Potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em Minas Gerais – Cenário 1





Potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em Minas Gerais – Cenário 2

A segunda maneira de analisar o potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em Minas Gerais é considerando apenas os 236 municípios com estações de tratamento de esgoto operadas pela COPASA, com a quantidade de tratamento real de esgoto e captando o biogás para a geração de energia.

Vale lembrar que 12 dos 30 municípios com mais de 100 mil habitantes de Minas Gerais não são atendidos pela COPASA ou não possuem tratamento de esgoto e, portanto, não serão considerados nesta etapa. São eles: Uberlândia, Juiz de Fora, Uberaba, Governador Valadares, Sete Lagoas, Poços de Caldas, Itabira, Araguari, Passos, Ubá, Muriaé e Ituiutaba.

Para o cálculo da geração teórica de biogás multiplica-se a população atendida pela vazão da ETE pela produção per capta média de biogás, que neste caso é de 15 L/hab* (conforme consultoria do banco Kfw), e divide-se por 1000 para a conversão de litros para metros cúbicos. A população atendida pela vazão da ETE é fornecida pela COPASA.

$$PB\left(\frac{m^3}{dia}\right) = \frac{Pop.Via\ Vazão\ (hab) \times Per\ Capita\ Biogás\ (L/hab.dia)}{1000}$$

Para o cálculo da geração teórica de energia elétrica basta multiplicar os valores encontrados de produção teórica de biogás em cada ETE pelo poder calorífico do biogás e pelo fator de conversão para kWh.

$$PE\ (kWh) = PB\left(\frac{m^3}{dia}\right) \times PCB\left(\frac{kcal}{m^3}\right) \times Fator\ Conversão\ kWh$$

Por último, foi calculado a potência média que a geração teórica de energia elétrica representa, dividindo o total de cada município por 24, passando de dias para horas.

*Produção per-capita de biogás: dado medido através de consultoria do banco Kfw

Tabela 3 - Potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica pelas ETEs dos municípios com mais de 100 mil habitantes de MG

Município	ETE	População atendida	Produção teórica de biogás (m³/dia)	Potencial teórico de energia elétrica (kWh/dia)	Potência média (kWh por hora)
BH	Arrudas	1.677.302,59	508.116,00	145.965,56	6.081,89
BH	Onça	1.095.826,11	21.600,00	6.204,96	258,54
BH	Rosseca/Serandi	491.505,55	7.372,55	2.117,69	88,25
BH	Jardim Vitória	26.559,05	-	-	-
BH	Olhos D'Água	3.265,25	46,95	14,06	0,59
BH	Minas Solidária	633,07	9,50	2,73	0,11
Contagem	Nova Contagem	62.760,96	941,71	270,52	11,27
Betim	Central	333.590,75	5.003,86	1.437,44	59,89
Betim	Bandeirinhas	23.629,54	354,44	101,82	4,24
Betim	Teixeirinha	9.382,34	140,75	40,43	1,68
Betim	Cidade Verde	8.600,39	129,01	37,06	1,54
Betim	Cachoeira	4.864,86	72,97	20,96	0,87
Betim	Petrovale	4.361,00	65,42	18,79	0,78
Betim	Santo Antônio	1.960,69	29,71	8,53	0,36
Montes Claros	Vieiras	445.327,15	6.679,91	1.918,91	79,95
Montes Claros	Nova Esperança	1.611,45	24,17	6,94	0,29
R. das Neves	Sede	402.195,22	6.032,93	1.733,06	72,21
R. das Neves	Justinópolis	266.776,45	4.001,65	1.149,54	47,90
R. das Neves	Vargem	47.713,05	715,70	205,60	8,57
R. das Neves	Centro e Savassi	29.567,72	443,52	127,41	5,31
Ipatinga	Rio Doce/Ipanema	415.570,04	6.233,55	1.790,69	74,61
Ipatinga	Imbaúbas/Areal	13.788,05	206,82	59,41	2,48
Ipatinga	Horto	5.592,36	83,89	24,10	1,00
Ipatinga	Bela Vista	3.679,14	55,19	24,47	1,02
Divinópolis	Itapecerica	294.334,92	4.415,02	1.268,29	52,85
Divinópolis	Pará	11.520,41	172,81	49,64	2,07

Município	ETE	População atendida	Produção teórica de biogás (m³/dia)	Potencial teórico de energia elétrica (kWh/dia)	Potência média (kWh por hora)
Santa Luzia	Chácara	101.423,18	1.521,35	437,03	18,21
Santa Luzia	Toronto	30.825,24	462,35	132,82	5,53
Santa Luzia	Santa Luzia	28.231,19	423,47	121,65	5,07
Santa Luzia	Pinhões	8.884,77	133,27	38,28	1,60
Santa Luzia	Apac	2.091,20	31,37	9,01	0,38
Santa Luzia	Bom Destino Norte	1.537,05	23,06	6,62	0,28
Santa Luzia	Bom Destino Sul	1.108,54	16,63	4,78	0,20
Ibirité	Sede	301.075,27	4.516,13	1.297,33	54,06
Patos de Minas	Patos de Minas	247.505,56	3.712,58	1.066,50	44,44
Patos de Minas	Santana dos Patos	1.340,28	20,10	5,78	0,24
Patos de Minas	Pilar	1.072,23	16,08	4,62	0,19
Pouso Alegre	Sapucaí Mirim	121.511,97	1.819,66	522,73	21,78
Pouso Alegre	Cidade Jardim	35.989,22	539,84	155,08	6,46
Pouso Alegre	São José do Pântano	469,07	7,04	2,02	0,08
Teófilo Otoni	Teófilo Otoni	92.340,76	1.385,11	397,90	16,58
Barbacena	Sede	164.425,27	2.466,38	708,51	29,52
Varginha	São José	82.242,07	1.233,63	354,38	14,77
Varginha	Santana	68.736,04	1.031,04	296,18	12,34
Varginha	Walita	805,93	12,09	3,46	0,14
Lafaiete	Ventura Luiz	209.100,06	3.136,50	901,01	37,54
Lafaiete	Bananeiras	67.242,82	1.008,64	289,75	12,07
Vespasiano	Vespasiano	49.361,17	740,42	212,70	8,86
Vespasiano	Morro Alto	32.309,13	484,64	139,22	5,80
Vespasiano	Nova Pampulha	21.515,05	319,73	91,85	3,83
Vespasiano	Vida Nova	3.497,35	52,46	15,07	0,63
Coronel Fabriciano	Coronel Fabriciano	186.016,57	2.820,25	810,16	33,76

Fator de conversão kJ para kWh: 0,000278 ; Poder calorífico do biogás: 24.798 kJ/Nm³

Potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em Minas Gerais – Cenário 2

- Ao analisarmos a tabela 4, percebe-se que a grande maioria dos municípios possui mais de uma estação de tratamento de esgoto, o que é um ponto negativo se tratando de geração de energia elétrica a partir do biogás, pois o potencial se divide em pequenas quantidades se tornando praticamente inviável.
- O mais interessante seria se uma única ETE tratasse todo o esgoto captado, pois assim o potencial de biogás seria maximizado, assim como a geração de energia.
- A ETE Arrudas, que possui a maior geração de energia entre todas listadas acima, é a única que de fato produz energia elétrica proveniente do biogás, produz 145.965,36 kWh/dia, o que atenderia cerca de 35.952 pessoas, consumindo 122 kWh/mês.

O cenário de Belo Horizonte

Belo Horizonte possui, hoje, 7 estações de tratamento de esgoto em funcionamento, recebendo esgoto não só de BH mas também de municípios da grande BH, como Sabará, Nova Lima, Contagem, etc.

Estação de Tratamento de Esgoto	Capacidade (L/s)	Vazão (L/S)	DBO_5 Afluente (mg/L)	DBO_5 Efluente (mg/L)	DQO_5 Afluente (mg/L)	DQO_5 Efluente (mg/L)	Potencial de produção de biogás (m^3/dia)
Arrudas	2250	2570	290,70	15,60	436,05	23,40	508.116,00
Onça	1000	1676	256,00	31,00	384,00	46,50	21.600,00
Ressaca/Serandi	750	766,7	54,60	10,80	-	-	7.372,55
Jardim Vitória	41,2	-	-	-	-	-	-
Olhos d'Água	17,2	5	328,00	64,50	492,00	96,75	46,95
Minas Solidária	5,5	0,97	495,00	119,00	742,50	178,50	9,50
Nova Contagem	29	75	330,00	54,00	495,00	81,00	941,71

Entre todos os 853 municípios de Minas Gerais, apenas em Belo Horizonte, na ETE Arrudas, ocorre a produção do biogás do lodo de esgoto em biodigestores para geração de energia elétrica.

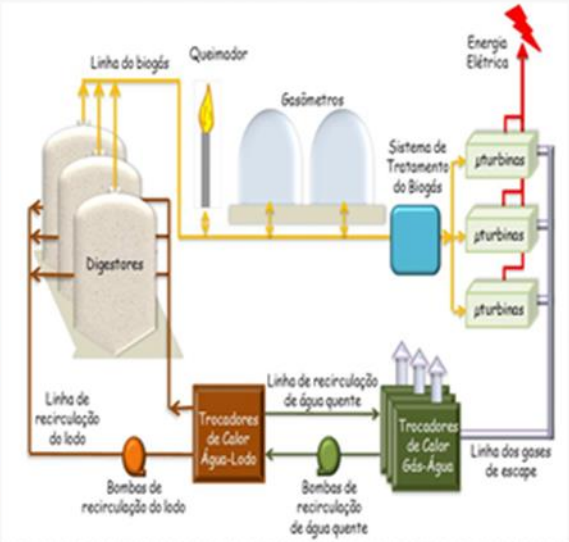
O cenário de Belo Horizonte

A ETE Arrudas é equipada com uma Pequena Central Termelétrica (PCT).

O lodo primário e secundário é direcionado para os biodigestores, onde ocorre a decomposição anaeróbica e, consequentemente, a produção do biogás, que por sua vez é armazenado em grandes tanques de armazenamento. Quando o armazenamento chega ao seu limite, o biogás gerado é queimado em *Flares* para ser liberado para a atmosfera em forma de CO_2.

Já o biogás armazenado, antes de ser direcionado para as microturbinas, passa por um tratamento composto por um Chiller (sistema de resfriamento do gás para a remoção da umidade) e um Skid (sistema de compressão e retirada de impurezas do gás). Após esse processo, o biogás vai para as microturbinas, onde, através do Ciclo Brayton (capítulo 5.3.2), ocorre a geração de energia elétrica.

Além da geração de energia elétrica, a ETE Arrudas conta também com um sistema de cogeração, onde os gases de escape das microturbinas, a altas temperaturas, são aproveitados em trocadores de calor gás-água e água-lodo, em um ciclo fechado.



Potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em MG para o ano de 2020

Considerando a projeção da população de Minas Gerais realizada pela Fundação João Pinheiro (2009 – 2020) será analisado, novamente, o cenários 1 do potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em Minas Gerais. Porém, desta vez será considerada a população projetada de cada município para o ano de 2020.

A metodologia usada nos cálculos será a mesma, seguindo a fórmula abaixo. Porém, a população irá variar.

$$PB = \frac{População \times Per\ Capita\ de\ Biogás \times 365}{1000}$$

A partir do que será calculado, poderemos calcular a produção de energia elétrica, seguindo a mesma metodologia usada anteriormente.

$$PE\ (kWh) = PB\left(\frac{Nm^3}{ano}\right) \times PCB\left(\frac{\text{kJ}}{\text{Nm}^3}\right) \times Fator\ Conversão\ kWh$$

O valor usado de poder calorífico do biogás é de 24.798 kJ/Nm³ e o fator de conversão de kJ para kWh de 0,000278.

Por último, será calculado a potência média que a geração teórica de energia elétrica representa, dividindo o total de cada município primeiro por 365, passando de ano para dias e, por último, por 24, passando de dias para horas.

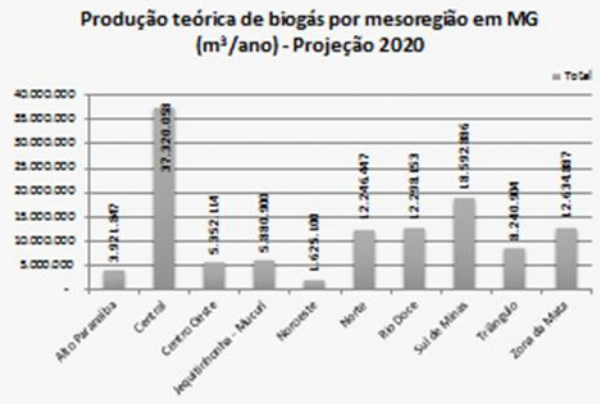
Tabela 4 - Potencial teórico de geração de energia elétrica nos 30 municípios com mais de 100 mil habitantes em Minas Gerais para o ano de 2020

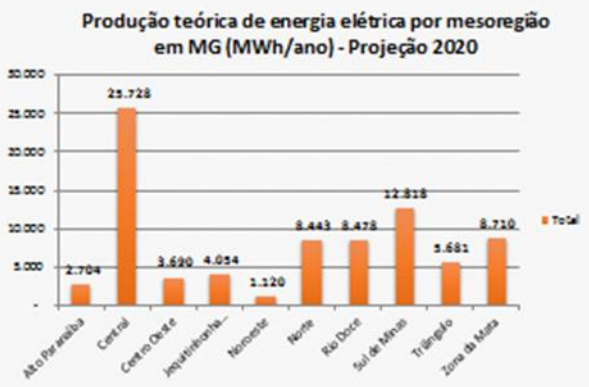
Municípios	Produção teórica de biogás (Nm³/ano)	Potencial teórico de energia elétrica (kWh)	Potência média (kWh por hora)
Belo Horizonte	14.255.644,95	98.263.763,49	11.217,55
Uberlândia	4.019.564,55	27.710.249,44	3.163,27
Contagem	3.774.952,25	26.023.953,15	2.970,77
Juiz de Fora	3.163.520,70	21.806.816,20	2.489,59
Betim	2.980.562,65	20.547.553,80	2.345,61
Ribeirão das Neves	2.338.235,65	16.119.451,67	1.840,12
Montes Claros	2.216.170,50	15.277.953,70	1.744,06
Uberaba	1.800.333,50	12.411.216,92	1.416,81
Governador Valadares	1.500.765,65	10.346.065,16	1.181,06
Ipatinga	1.466.681,55	10.111.072,29	1.154,23
Santa Luzia	1.459.457,90	10.061.157,21	1.148,53
Sete Lagoas	1.398.835,15	9.643.551,17	1.100,64
Divinópolis	1.312.755,25	9.049.792,25	1.033,08
Ibirité	960.583,25	6.622.111,25	755,95
Poços de Caldas	891.302,65	6.144.501,29	701,43
Patos de Minas	828.765,60	5.713.504,85	652,23
Pouso Alegre	786.675,35	5.423.217,35	619,09
Barbacena	761.006,55	5.246.274,45	598,89
Sabará	752.655,55	5.050.799,25	576,55
Varginha	717.006,00	4.942.927,51	564,26
Teófilo Otoni	714.416,55	4.925.074,75	562,22
Conselheiro Lafaiete	673.342,85	4.641.920,77	529,90
Vespasiano	662.757,60	4.568.811,01	521,55
Itabira	652.247,70	4.496.493,69	513,30
Araguari	643.175,65	4.433.952,46	506,16
Passos	629.778,30	4.341.595,35	495,62
Ubá	604.905,35	4.170.123,52	476,04
Coronel Fabriciano	603.662,35	4.161.555,45	475,06
Muriaé	573.958,05	3.956.984,07	451,71
Ituiutaba	555.997,50	3.833.641,56	437,51

Potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em MG para o ano de 2020

- Ao analisarmos a tabela 7, podemos ver que Belo Horizonte, com 98.263.783,49 kWh/ano, possui, também, um potencial teórico de energia elétrica maior do que as próximas 4 maiores cidades juntas, que somam 96.090.533,56 kWh/ano. Já os 30 municípios, juntos, somam 370.067.804,01 kWh/ano, o que representa, novamente, 45,45% do potencial teórico de todo o estado de Minas Gerais.
- O potencial teórico total de geração de energia elétrica do estado (tabela disponível no final deste documento) é de 814.254.646,43 kWh/ano, caso todo o biogás captado fosse convertido em energia elétrica.
- O Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 nos mostra uma taxa de variação para o consumo de eletricidade na rede por residências de 4,5% ao ano, o que nos permite chegar ao valor médio para o consumidor em Minas Gerais de 144,2 kWh. Com isso, é possível estimar qual seria a população atendida com a energia gerada.
- Para uma percepção melhor, o potencial teórico de Belo Horizonte atenderia cerca de 56.787 pessoas, o que representa uma população maior do que a população de 92,8% (792) dos municípios mineiros em 2020. Já o potencial teórico de todo o estado de Minas Gerais atenderia cerca de 470.559 pessoas, o que representa uma população maior do que a população de 99,4% (848) dos municípios mineiros no ano de 2020.

Potencial teórico de geração de biogás e energia elétrica em Minas Gerais – Cenário 1





Referências

- ABNT NBR 9648, acessado em 23/05/14, disponível em http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=79679.
- Fundação Estadual do Meio Ambiente. Orientações básicas para operação de estações de tratamento de esgoto / Fundação Estadual do Meio Ambiente. — Belo Horizonte: FEAM, 2006. 52p; il.
- Direct Industry – Salão de industrias online, acessado em 13/06/14, disponível em http://www.directindustry.es/prod/erhard-muhr-mbh/compuertas-tratamiento-aguas-residuales-60091-1203003.html.
- Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ (CESA/UFRJ), acessado em 13/06/14, disponível em http://www.saneamento.poli.ufrj.br/site/pt-br/ute/.
- Sigma – Tratamento de águas, acessado em 13/06/14, disponível em http://www.sigma.ind.br/produtos/desarenadores.
- Wikipedia – Biogás, acessado em 26/05/14, disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A1s.
- Wikipedia – Biodigestor Anaeróbico, acessado em 26/05/14, disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Biodigestor_anaer%C3%B3bico.
- Centro Nacional de Referencia em Pequenas Centrais Hidroelétricas (CNRPCH), acessado em 13/06/14, disponível em http://www.cerpch.unifei.edu.br/biodigestor.php.
- SAMAE - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Pomerode, acessado em 13/06/14, disponível em http://www.samaepomerode.com.br/index.php?pg=1042.
- Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ (CESA/UFRJ), acessado em 13/06/14, disponível em http://www.saneamento.poli.ufrj.br/site/pt-br/reator-uasb/.
- Professor Carlos Fernandes de Medeiros Filho – Universidade Federal de Campina Grande, acessado em 24/06/14, disponível em http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/UASB01.html.
- Costa, David Freire da. – Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto / David Freire da Costa; orientador José Goldemberg. São Paulo, 2006. 194p.:Il.;30cm.

Referências

- *ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade*
- *Manual para aproveitamento do biogás: volume dois, efluentes urbanos. ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2010. 77p.*
- *Schulz, Daniel - Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, acessado em 26/06/14, disponível em http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/motores4t_etapas.htm.*
- *Menezes, Ernani do Livramento – O uso de turbinas a gás para geração de energia elétrica em plataformas. Centro Universitário da Zona Oeste. 48p.*
- *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2008. 219p.*
- *Bernadette Araujo, Maria. Projeção da População Municipal de Minas Gerais 2009-2020. Fundação João Pinheiro. Belo Horizonte, 2009. 13p.*
- *Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2011. Página 34, Tabela 17.*
- *Oliveira, Rafael Deléo e. Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono / Rafael Deléo e Oliveira; orientador José Carlos de Melo Vieira Júnior. – São Carlos, 2009. 98p.*
- *Vitoratto, Professor Dr. Elson. Tratamento de Efluentes Líquido Orgânicos – Sistemas Anaeróbios. 2004. 13p.*
- *Velázquez, Silvia Maria Stortini González. Avellar, Luís Henrique Nobre. Martins, Osvaldo Stella. Costa, David Freire. Guardabassi, Patrícia Maria. Varkulya, Américo Jr. Pecora, Vanessa. Sistema de Purificação de Biogás de Esgoto para utilização em Microturbinas. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa.*
- *COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais.*
- *CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais.*
- *SABESP – Companhia e Saneamento Básico do Estado de São Paulo*

Referências - Imagens

- Universidad Nacional Abierta y a Distancia - Desenho de plantas de tratamento de águas residuárias, acessado em 27/08/2014, disponível em http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_13_decantador_primario.html.
- Site Miliarium – Ingeniería Civil y Médio Ambiente, acessado em 27/08/2014, disponível em http://www.miliarium.com/Proyectos/depuradoras/tratamientos/convencionales/primario/menu3.asp.
- Site Águas do Brasil, acessado em 28/08/2014, disponível em http://aguasdobrasil.org/edicao-02/programa-agua-limpa.html.
- Site Ebah – Rede social de compartilhamento estudantil. Lagoas de Estabilização, acessado em 28/08/2014, disponível em http://www.ebah.com.br/content/ABAAAe7k8AA/lagoas-estabilizacao.
- Site Infra Estrutura Urbana, acessado em 28/08/2014, disponível em http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/26/estacoes-compactas-280963-1.aspx.
- Conen Consultaria e Engenharia, acessado em 28/08/2014, disponível em http://www.conen.com.br/tipologia/5-esgoto/85-ete-jardim-esperanca.
- Lagoa de maturação, acessado em 28/08/2014, disponível em http://oseas2d2010.blogspot.com.br/2010_05_01_archive.html.
- Turbina a gás: Acessado em 28/08/2014, disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Turbina_a_g%C3%A1s.
- Microturbinas: Catálogo de produtos Capstone, acessado em 29/08/2014, disponível em http://www.capstoneturbine.com/prodsol/products/.
- Cogeração: Acessado em 29/08/2014, disponível em http://www.cogenportugal.com/general_content/showInformation.aspx?mt=1&ml=34&type=2.

ATUALIZAÇÃO DO MAPEAMENTO ENERGÉTICO

Cecília de Toledo Faraco Maciel

SUMÁRIO

- Histórico
- Introdução
- Desenvolvimento
- Resultados e discursões
  - Mapa Atualizado
- Conclusão

Referências Bibliográficas

CEMIG

INTRODUÇÃO

A Metodologia desse artigo aponta o estudo de mapa feito pela CEMIG com diferentes fontes de energias, contendo 37 tipos de tecnologias, estabelecendo as mudanças que ocorreram até agora e as que estão previsto até 2020, diante deste mapa foi criada uma tabela para poder observar as fontes que obtiveram mudanças, e com isso mostrar essas tecnologias.
Onde foi desenvolvida, seus métodos, obtendo uma analise geral de tecnologia, pesquisa e inovação visando o futuro energético e podendo atualizar este mapa.

Figura 1 - Fórum de química Ambiental

CEMIG

DESENVOLVIMENTO

Biomassa > Digestão > Biogás

Já atuante na **Alemanha**, foi criando no Brasil um centro internacional para aprofundamento do biogás, em **Foz do Iguaçu** no estado do Paraná. Organizando, desenvolvendo e acompanhando a tecnologia para viabilização da energia. O mundo, da América do Sul, da América Central, da África, está arquitetando, e irão ver como acontece o emprego dessa energia.

Beneficiará agricultores e a própria geração de energia elétrica, resultando vários os aspectos, sem falar nos resíduos urbanos. [1]

CEMIG

DESENVOLVIMENTO

Carvão > Pulverização > Cogeração

Processo foi testado e está pronto, para ser testado numa **escala maior**.
A reação química consinte em controlar o carvão, para que **não ocorra queima**, sendo **consumido quimicamente**, e o dióxido de carbono fica inteiramente contido dentro do reator
Energia do carvão sem CO2, chegou a funcionar num ciclo cerca de 200 horas.
O carvão gerou o calor esperado, ao mesmo tempo em que 99% do dióxido de carbono produzido foi capturado. O CO2 é separado e pode ser reciclado ou sequestrado, enquanto a energia termal pode ser usada para produzir eletricidade ou para alimentar caldeiras industriais.
O ponto da tecnologia é o uso de esferas metálicas pequenas, para transportar oxigénio para o combustível que inicia a reação química. O carvão é pulverizado em partículas de cerca de 100 micrómetros de diâmetro, enquanto as esferas de ferro oxidado são maiores, com cerca de 1,5 a 2 milímetros de diâmetro. O carvão e o ferro são aquecidos pelo combustível a temperaturas muito elevadas, quando os dois materiais reagem entre si. O carbono do carvão liga-se com o oxigénio do óxido de ferro e cria o dióxido de carbono, que sobe para uma câmara onde é capturado, deixando para trás o ferro quente e cinzas de carvão. As cinzas do carvão são descartadas, enquanto as esferas de ferro, que são bem maiores, são peneiradas e reutilizadas.[2]

DESENVOLVIMENTO

Carvão > Gaseificação > Gás de síntese > Hidrogênio

Um projeto da companhia Rio-grandense de Mineração propôs uma pesquisa para gaseificação do carvão de Candiota. A produção do mineral e cria possibilidades, de retorno econômico e social em termos de energia limpa, além do encaminhamento necessário e a viabilização, poderá acontecer ampliação para outras unidades da mineradora.[3]

DESENVOLVIMENTO

Hidráulica > Energia cinética de correntes > Turbinas hidro cinéticas > Eletricidade

Desenvolvida pelo pesquisar Alexandre M. Gorlov, a turbina do tipo Helicoidal, apresentou rendimento e baixas vibrações. Os primeiros testes foram realizados em 1996, no Laboratório de Turbinas Helicoidais de Massachusetts, Cambridge, USA. A partir destes testes, verificaram que esta é uma máquina que ocupa pouco espaço, é leve e fácil de manusear, apresenta baixo custo de fabricação e pequena vibração mecânica. São turbinas hidráulicas capazes de gerar até 5 kW de potência, operando independentemente da direção da correnteza, gera eletricidade para abastecer pequenas propriedades rurais nas regiões ribeirinhas, nos EUA, China e Coréia.[4]

DESENVOLVIMENTO

Oceânica > Mares > Eletricidade

Em 1996 na França foi construída a primeira usina maremotriz. Hoje, os países que mais utilizam este sistema de geração de energia são: Japão, França, Coreia do Sul, Inglaterra e Estados Unidos (principalmente instaladas no Havaí). Embora tenha uma situação geográfica favorável, principalmente no litoral maranhense e na ilha de Macapá, o Brasil ainda não produz energia através deste sistema. [5]

CEMIG

DESENVOLVIMNETO

Oceânica > Ondas > Eletricidade

No Porto de Pecém, estado do Ceara, já ha geração de energia pela força das ondas do mar, seu funcionamento se deu em 24 de junho de 2012, quando foi gerada, pela primeira vez, energia por meio das ondas do mar.

Potência nominal de 100 quilowatts, o equivale ao consumo de 60 casas do padrão de consumo médio de energia elétrica no Estado e, mesmo em fase de teste concebe energia aceitável para ser aproveitada pelas instalações do Porto do Pecém. Há planos de ampliação de aumentar a quantidade de braços mecânicos, hoje dois, com boias captadoras de energia do mar e a convertendo em eletricidade. Em países europeus como Dinamarca, Reino Unido e Portugal existem entre 15 e 20 protótipos de usinas para geração de energia elétrica, a partir do movimento das ondas do mar.[6]

CEMIG

DESENVOLVIMENTO

Reservas não convencional > Petróleo

A petrolífera Russa que já utilizada alguns métodos não tradicionais, como a produção de óleo xisto, juntou-se a uma empresa americana para melhorar a produtividade em reservas de difícil extração, buscando novos métodos de extração, e novas tecnologias para poder alcançar essas reservas de petróleo, como por exemplo, o caso das jazidas entre rochas, pretendendo extrair 300 milhões de toneladas de petróleo de fontes não convencionais até 2020.[7]

DESENVOLVIMENTO

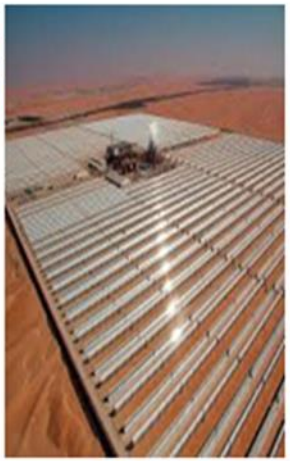
Solar > Térmica > Com Concentração de radiação > Eletricidade

No deserto Madinat Zayed, a central **Shams 1** que é uma das regiões mais ensolaradas e quentes no mundo agora recebe uma central solar concentrada com **potência** instalada de 100 MW, tipo solar concentrada . A outros parques solares instalados nos EUA e em Espanha do mesmo tipo.

Seu funcionamento se dá aos raios solares que são direcionados por espelhos parabólicos a um tubo central, pelo qual pode circular óleo ou sal fundido. O sistema se aquece e eleva a temperatura da água que dele faz parte, podendo atingir valores médios da ordem de 400ºC. Com isso, o vapor d'água produzido movimenta turbinas que ativam um gerador elétrico.

A relação entre a área ocupada por potência instalada é considerada altíssima.

Um dos requisitos desejáveis é que uma central tenha uma **alta potência** instalada, com **consequente alta energia** a ser produzida, **num menor espaço possível**. Para a central Shams 1, não entra nessa relação mais se for levar em conta que ela foi construída no deserto onde a forte insolação e que faz com que seria muito pouco provável que essa área seria aproveitada.[8]

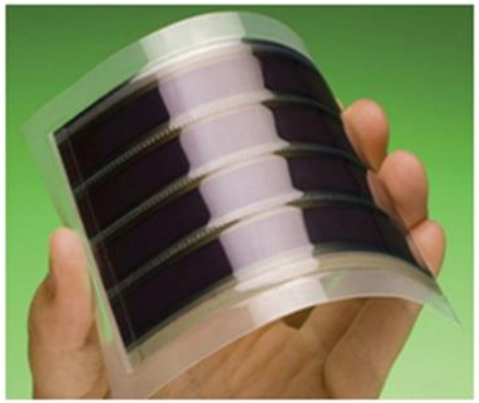


CEMIG

DESENVOLVIMENTO

Solar > Painel fotovoltaico > Filmes finos > Eletricidade

Ocupam no mercado cerca de 8% na produção total de painéis fotovoltaicos. Em 2011, a tecnologia de filmes finos já ocuparam 14% do mercado. Filmes finos constituem atualmente cerca de 10% a 15%[9].



CEMIG

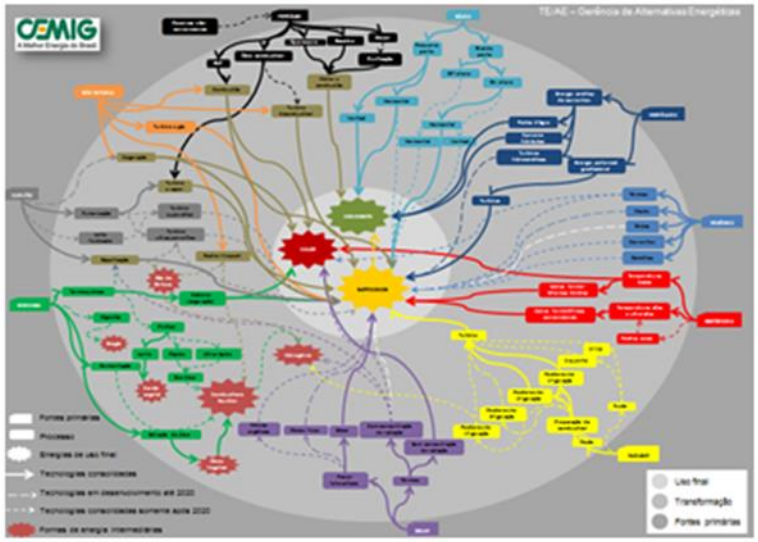
DESENVOLVIMENTO

Nova Energia - Algas

O edifício na Alemanha, abastecido pela energia que vem das algas, por placas de vidro na fachada, captam calor solar como o gás carbônico da atmosfera. Em troca, devolvem uma biomassa que é transformada em biogás, distribuído na forma de energia elétrica ou de calor. Além de purificar o ar e acender lâmpadas, as algas funcionam como uma persiana natural, que bloqueia a luz do sol e resfria o espaço interno nos dias mais quentes. A energia gerada é tamanha que o prédio não precisa de nenhuma outra fonte. Pelo contrário, o que sobra é vendido para fornecedores da rede elétrica da cidade.[10]

CEMIG

MAPA ATUALIZADO



CONCLUSÃO

A participação das fontes renováveis na matriz energética nos próximos anos será maior projetado, tendo em vista que é preciso crescer e melhorar o setor energético no mundo. Pesquisa e investimento na área, como, vimos acontece há todo momento, onde também há parcerias entre pesquisadores, universidades, países, para obter um melhor resultado.

Economicamente possível atender à crescente demanda de energia do país de modo limpo e sustentável. A Revolução Energética nada mais é do que uma provocação pública, pois temos a grande noção que o setor tem que crescer, mais isso ocorrera da vontade e visão política.

Há recursos naturais de sobra mundialmente para o setor energético se tornar uma potência energética limpa, não afetando o meio ambiente e não colocando a população numa posição de risco e a novas leis estão sendo criadas para que isso ocorra.

OBRIGADA!

CEMIG

BIBLIOGRAFIAS

[1] ITAUPU BINACIONAL. Centro internacional com ênfase em biogás é instalado em Foz. Disponível em < http://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/centro-internacional-com-enfase-em-biogas-e-instalado-em-foz>. Acesso em

[2] PORTAL ENERGIA, ENERGIAS RENOVÁVEIS. Carvão produz calor sem combustão e sem CO2.<http://www.portal-energia.com/carvao-produz-calor-sem-combustao-e-sem-co2/>

[3] GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL. Companhia Riograndense de Mineração propõe pesquisa para gaseificação do carvão de Candiota. http://www.rs.gov.br/noticias/1/118652/Companhia-Riograndense-de-Mineracao-propoe-pesquisa-para-gaseificacao-do-carvao-de-Candiota

[4] CERPCH. Turbina Hidro cinética - Turbinas Convencionais <http://www.cerpch.unifei.edu.br/hidrocinetica.php>

[5] SUA PESQUISA. Energia das Mares. http://www.suapesquisa.com/energia/energia_mares.htm

BIBLIOGRAFIAS

[6] TRIBUNA DO CEARA. Usina de Ondas do Ceará deve ficar 100% até o fim de 2013. http://tribunadoceara.ucl.com.br/noticias/ceara/usina-de-ondas-do-ceara-deve-ficar100 ate-o-fim-de-2013/

[7] GAZETA RUSSA. Gazprom assina parceria com Halliburton para exploração de petróleo não convencional. http://gazetarussa.com.br/economia/2013/08/15/gazprom_assina_parceria_com_halliburton_para_e xploracao_de_petroleo__21091.html

[8] PT JORNAL. Inaugurada a maior Central de Energia Solar concentrada do Mundo. http://www.ptjornal.com/2013032014824/cronicas/carlos-sanches/inaugurada-a-maior-central-de-energia-solar-concentrada-do-mundo.html

[9] PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRICA UNIVERDADE DE MINAS GERAIS. Energia fotovoltaica. <http://www.cpdee.ufmg.br/~selenios/Geracao/EEE024-2013_3.pdf>

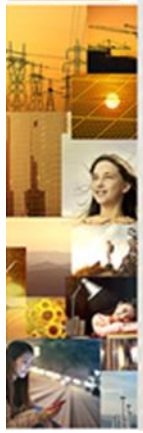
[10] ISTOE. Energia que vem das algas. <http://www.istoe.com.br/reportagens/311157_ENERGIA+QUE+VEM+DAS+ALGAS>

Produção de Energia Elétrica
Utilizando Biogás Oriundo de
Aterros Sanitários.
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

Classificação: Público

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.

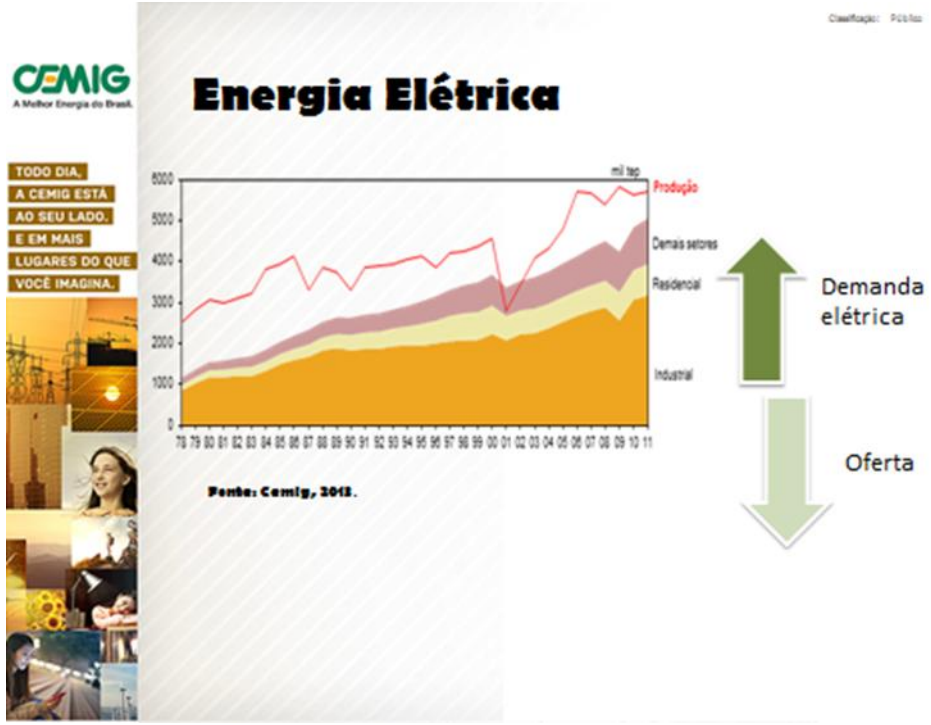


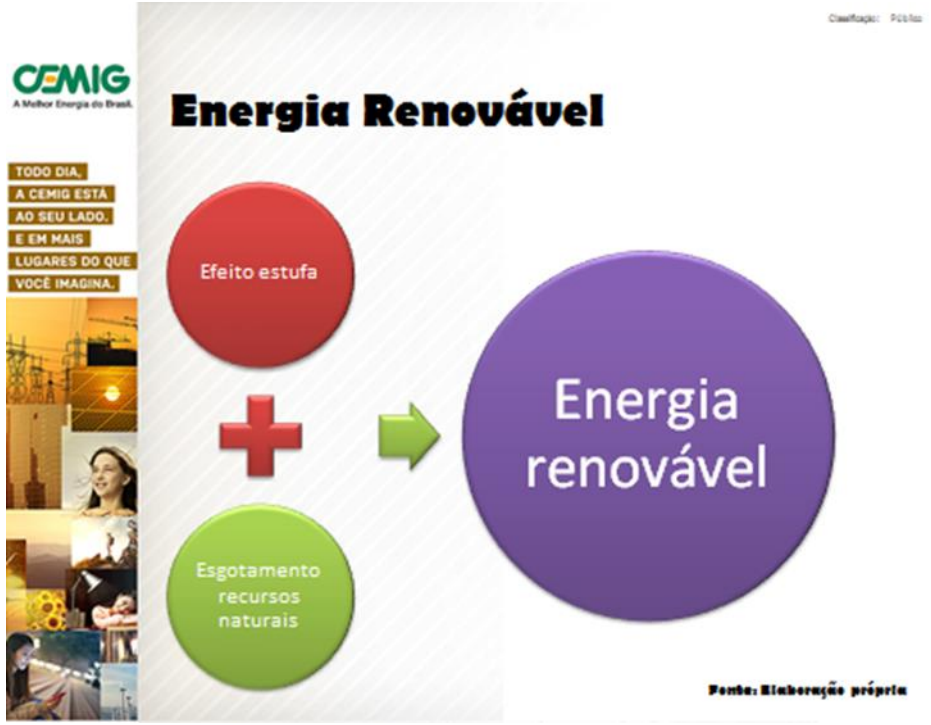
Energia Elétrica

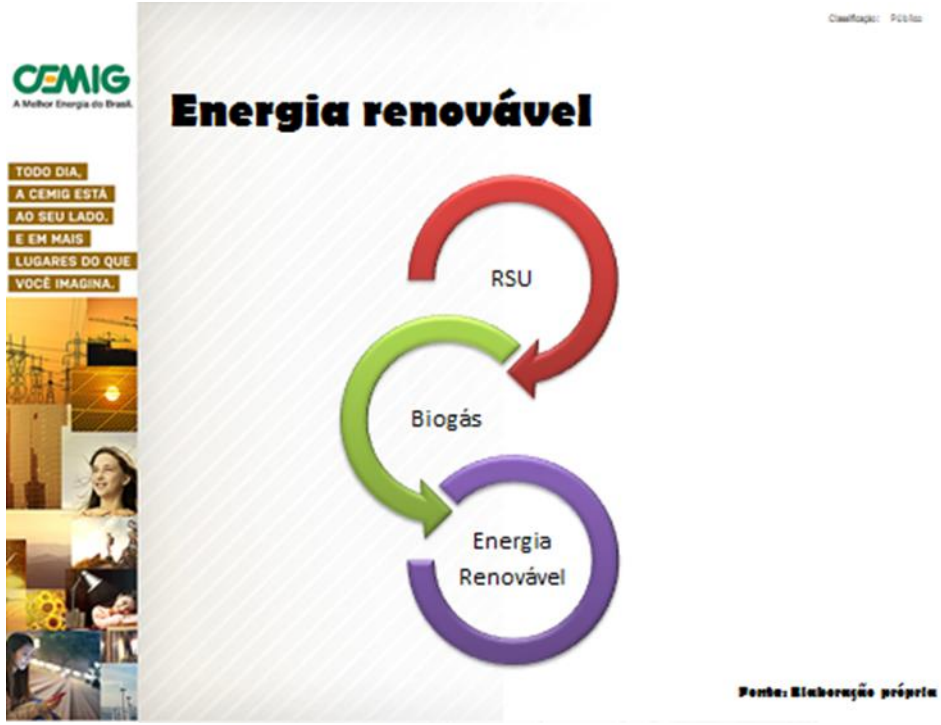
A maior parte de energia elétrica do Brasil é oriunda das hidrelétricas.

Fonte: Uol, 2014.

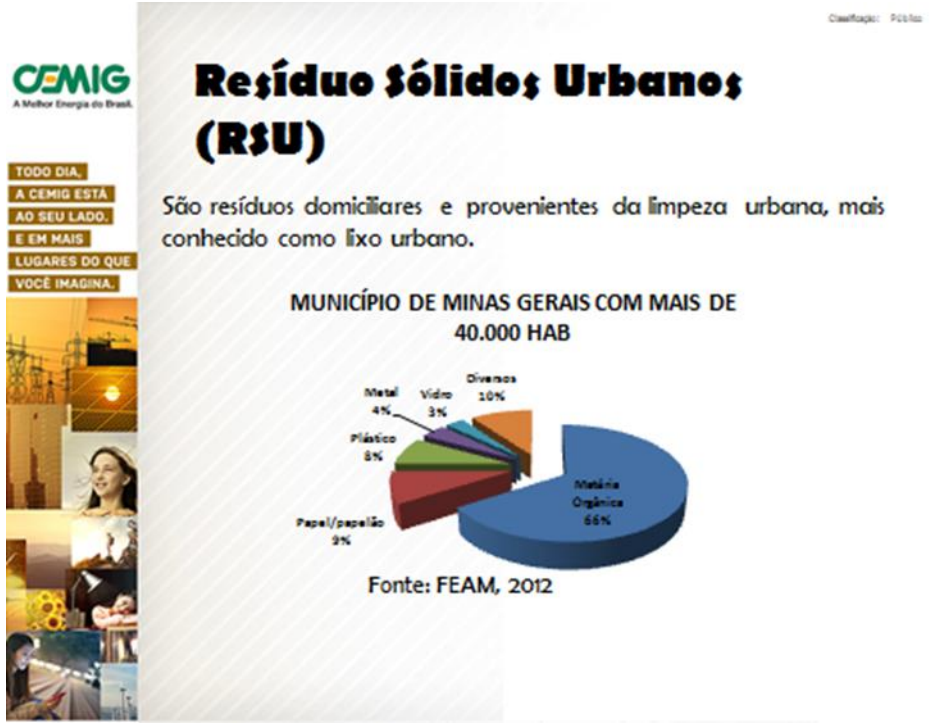
Últimos anos o cenário de energia elétrica vem mudando.

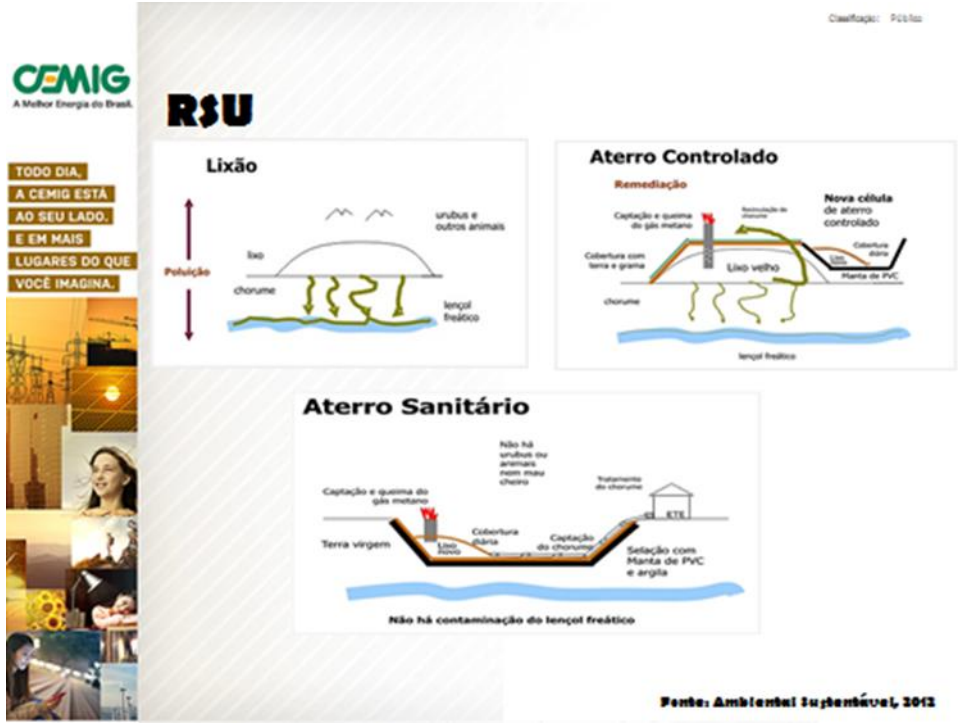

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Energia Elétrica
mil tep
Produção
Demais setores
Residencial
Industrial
Demanda elétrica
Oferta
Fonte: Cemig, 2011.


CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Energia Renovável
Efeito estufa
Esgotamento recursos naturais
Energia renovável
Fonte: Elaboração própria

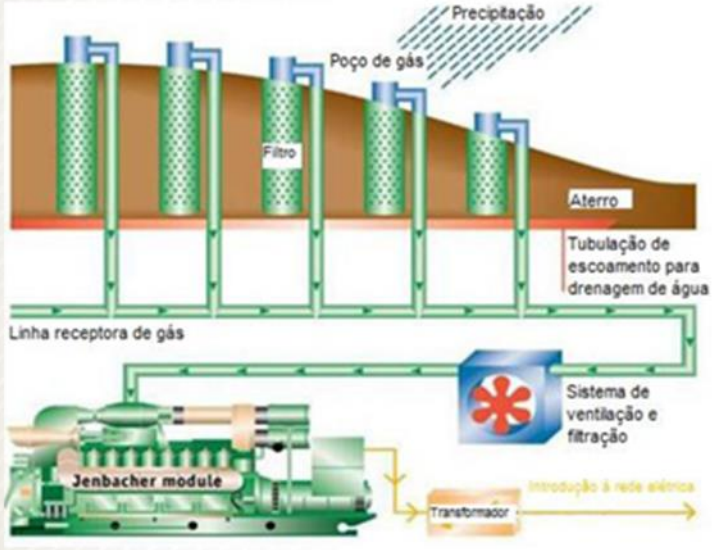


Fonte: Elaboração própria


CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Resíduo Sólidos Urbanos (RSU)
São resíduos domiciliares e provenientes da limpeza urbana, mais conhecido como lixo urbano.
MUNICÍPIO DE MINAS GERAIS COM MAIS DE 40.000 HAB
Metal 4%
Vidro 3%
Diversos 10%
Plástico 8%
Matéria Orgânica 66%
Papel/papelão 9%
Fonte: FEAM, 2012

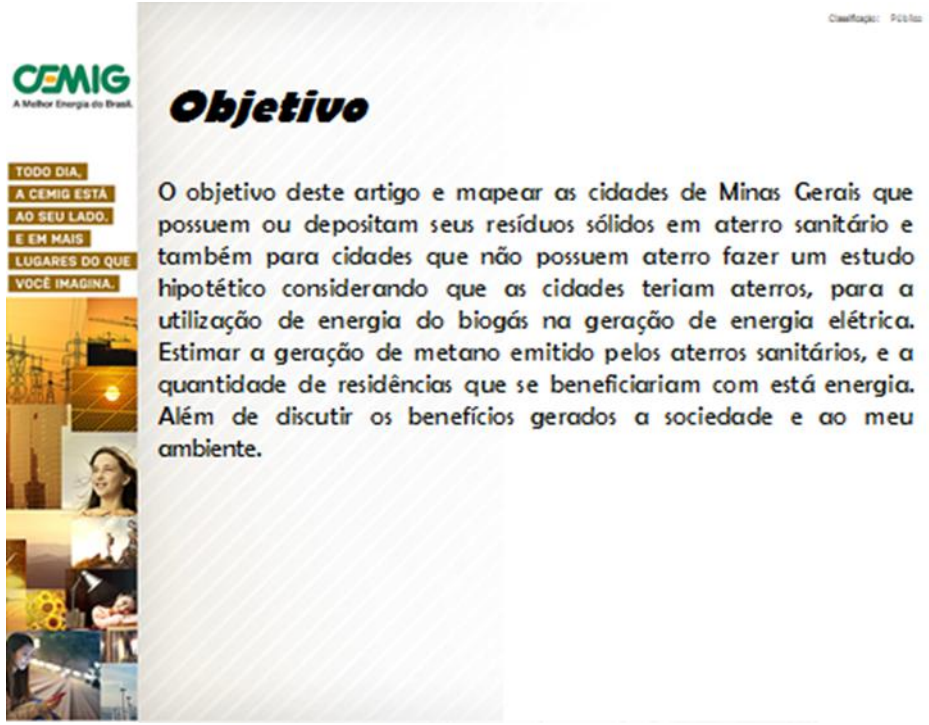

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
RSU
Lixão
Poluição
lixo
urubus e
outros animais
chorume
lençol
freático
Aterro Controlado
Remediação
Nova célula
de aterro
controlado
Captação e queima
do gás metano
Cobertura com
terra e grama
Lixo velho
chorume
Manta de PVC
lençol freático
Aterro Sanitário
Não há
urubus ou
animais
nem mau
cheiro
Captação e queima do
gás metano
Terra virgem
Cobertura
diária
Captação
do chorume
Tratamento
do chorume
ETE
Selação com
Manta de PVC
e argila
Não há contaminação do lençol freático
Fonte: Ambiental Sustentável, 2012

Classificação: Público



Fonte: ASIA BIOGAS , 2011.

Classificação: Público



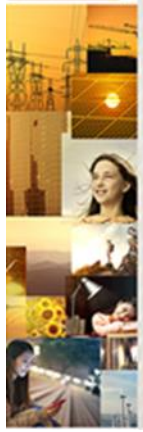
Objetivo

O objetivo deste artigo e mapear as cidades de Minas Gerais que possuem ou depositam seus resíduos sólidos em aterro sanitário e também para cidades que não possuem aterro fazer um estudo hipotético considerando que as cidades teriam aterros, para a utilização de energia do biogás na geração de energia elétrica. Estimar a geração de metano emitido pelos aterros sanitários, e a quantidade de residências que se beneficiariam com está energia. Além de discutir os benefícios gerados a sociedade e ao meu ambiente.

Classificação: Público

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.



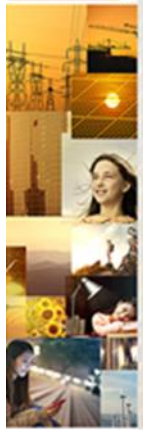
Metodologia

1. Levantamento sobre a situação de disposição de RSU do estado de Minas Gerais.
2. Levantamento da população.
3. Levantamento da geração média per capita de RSU das cidades.
4. Calculo de quantidade de resíduo gerado das cidades.
5. Levantamento sobre a gravimetria do lixo das cidades.
6. Estimar a produção de metano através da metodologia *Intergovernamental Panel on Climate Change* (IPCC).
7. Com as informações tabuladas em planilhas eletrônicas do software Microsoft® Excel foi calculada a potência gerada, a energia mensal e número de residência.
8. Após fazer todos estes passos os dados das cidades forma agrupados por região
9. Uma hipótese considerada neste estudo é a destinação de todo o resíduo em aterros sanitários.

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Estudo de caso
Formiga
Fonte: Wikipédia, 2014

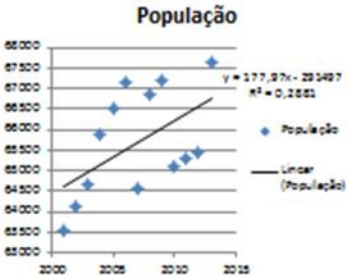
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.

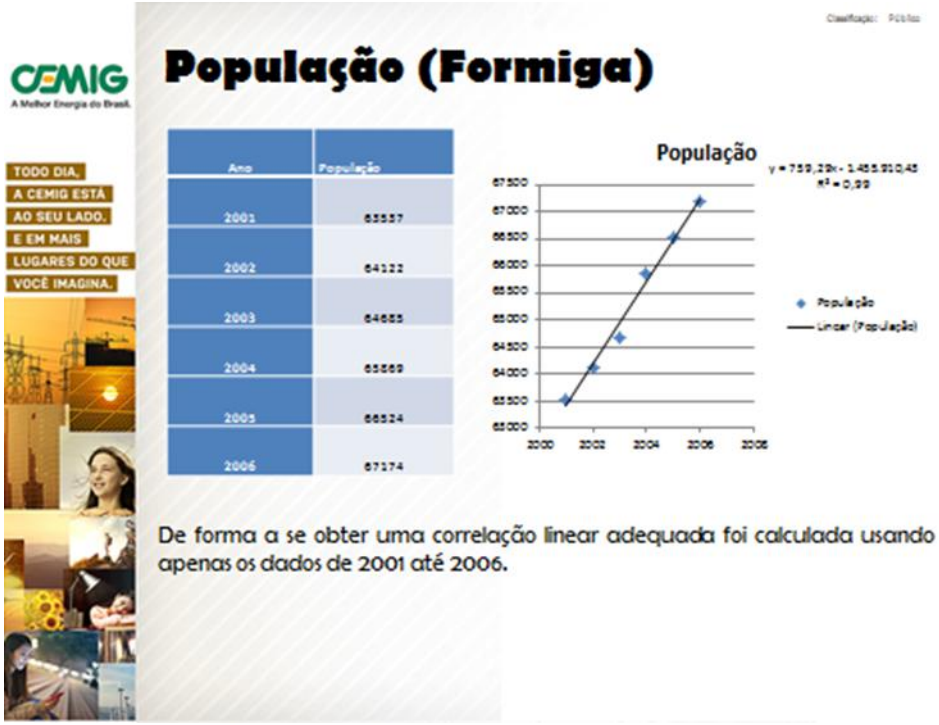


População (Formiga)

Ano	População	População estimada	Resíduos gerados(t/ano)
2001	63537	-	15537,97335
2002	64122	-	15661,0351
2003	64685	-	15816,71675
2004	65269	-	16108,26595
2005	66524	-	16265,4442
2006	67174	-	16427,4017
2007	64585	-	15794,26175
2008	66834	-	16544,2547
2009	67178	-	16428,5799
2010	65126	-	15927,0524
2011	65299	-	15968,87045
2012	65464	-	16009,2212
2013	67617	-	16535,75755
2014	-	73299,65	17925,42452
2015	-	74056,92	18111,10669
2016	-	74818,21	18296,79326
2017	-	75577,5	18482,47765
2018	-	76336,79	18668,16199
2019	-	77096,08	18853,84636
2020	-	77855,37	19039,53073
2021	-	78614,66	19225,2151
2022	-	79373,95	19410,89947
2023	-	80133,24	19596,58384
2024	-	80892,53	19782,26821
2025	-	81651,82	19967,95258
2026	-	82411,11	20153,63695
2027	-	83170,4	20339,32132
2028	-	83929,69	20525,00569
2029	-	84688,98	20710,69006



Foi estimada a população até 2029. Através do site do IBGE a população até o ano de 2013 foi obtida, sendo então feita uma regressão linear para inferir a população até 2029. Entretanto, em função de uma queda brusca da população, devido fenômenos de migração desta população para outras cidades, para fins de estudos ou empregos a regressão linear não se mostrou adequada.



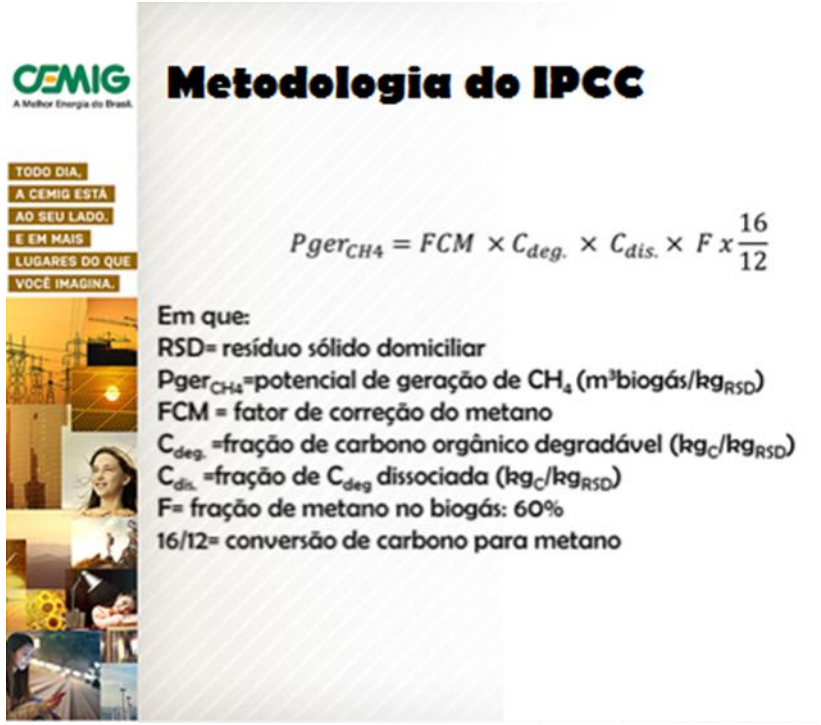
População (Formiga)

Ano	População
2001	63537
2002	64122
2003	64655
2004	65569
2005	66524
2006	67174

De forma a se obter uma correlação linear adequada foi calculada usando apenas os dados de 2001 até 2006.

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Gravimetria (Formiga)
MUNICÍPIO DE MINAS GERAIS COM MAIS DE 40.000 HAB
Metal 4%
Vidro 3%
Diversos 10%
Plástico 8%
Matéria Orgânica 66%
Papel/papelão 9%
Fonte: FEAM , 2012
A cidade de Formiga não tinha o valor geração *per capta* (kg/hab.dia) então foram utilizados os dados do GOVERNO DE MINAS GERAIS (2012), para cidades de tamanhos média de 30 mil a 500 mil habitantes que é 0,67 (kg/hab.dia).

Classificação: Público



Metodologia do IPCC

$$Pger_{CH4} = FCM \times C_{deg.} \times C_{dis.} \times F \, x \frac{16}{12}$$

Em que:

RSD= resíduo sólido domiciliar

$Pger_{CH4}$=potencial de geração de CH_4 (m^3biogás/kg_{RSD})

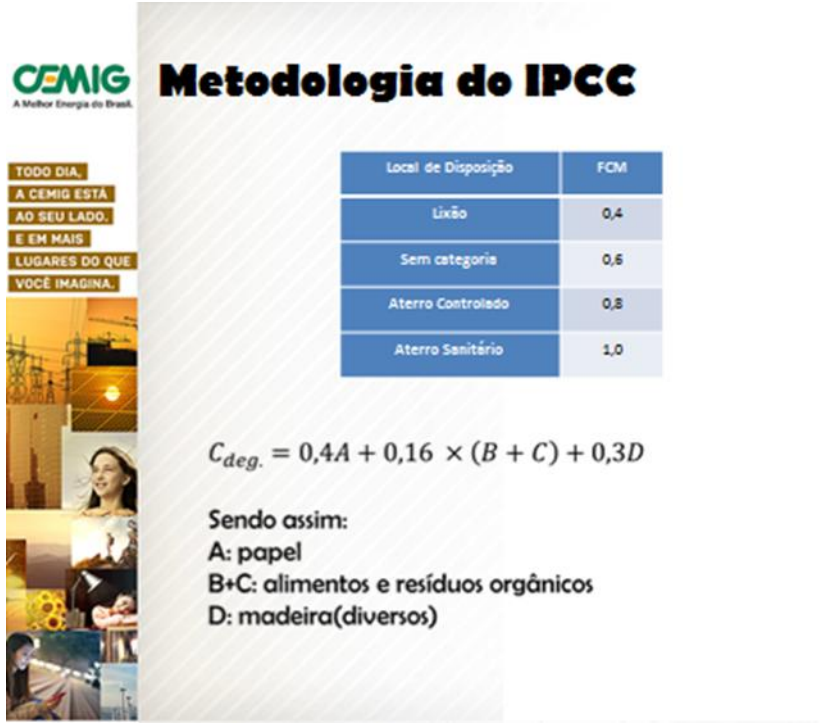
FCM = fator de correção do metano

$C_{deg.}$ =fração de carbono orgânico degradável (kg_C/kg_{RSD})

$C_{dis.}$ =fração de C_{deg} dissociada (kg_C/kg_{RSD})

F= fração de metano no biogás: 60%

16/12= conversão de carbono para metano

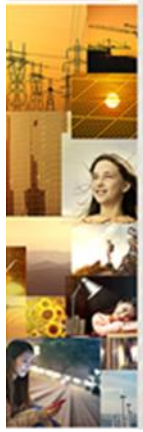

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Metodologia do IPCC
Local de Disposição
FCM
Lixão
0,4
Sem categoria
0,6
Aterro Controlado
0,8
Aterro Sanitário
1,0
$C_{deg.} = 0{,}4A + 0{,}16 \times (B + C) + 0{,}3D$
Sendo assim:
A: papel
B+C: alimentos e resíduos orgânicos
D: madeira(diversos)

Classificação: Público

Metodologia do IPCC

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.



$$C_{dis.} = 0{,}014T + 0{,}28$$

T: temperatura na zona anaeróbia do aterro é normalmente estimada em 35°C

$C_{dis.}$=0,77

$$vazão_{CH4} = \sum A \times k \times R_x \times Pger_{CH4} \times e^{-k(x-T)}$$

Em que:

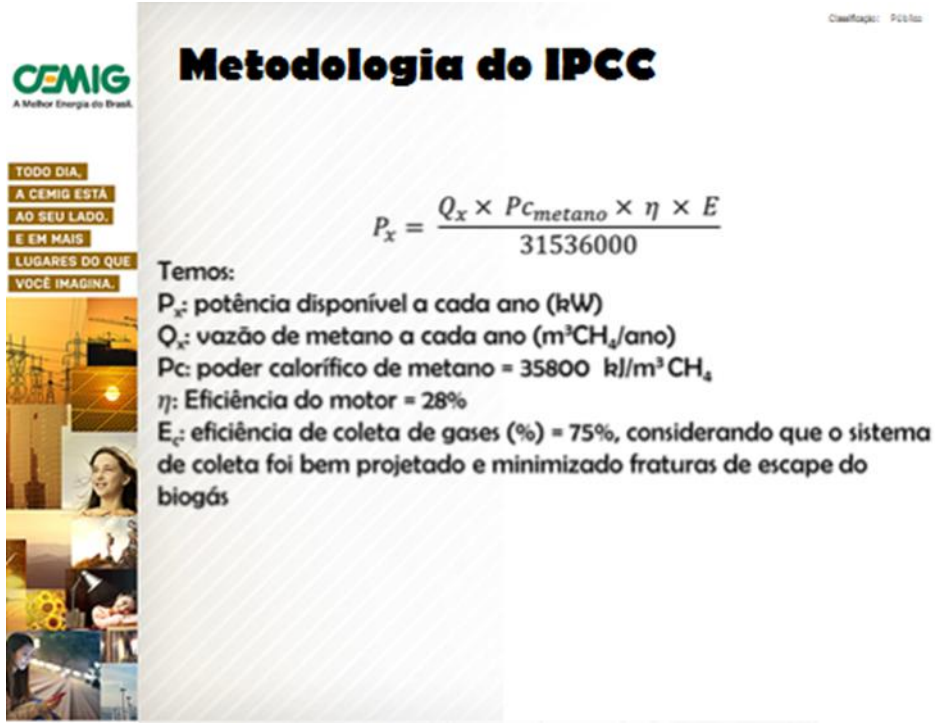
A: $(1\text{-}e^{-k})/k$; fator de normalização para corrigir a soma;

R_x: fluxo de resíduo no ano (t_{RSD})

x: ano vigente

T: tempo de deposição do resíduo no aterro

k: constante de acordo com o clima tropical. De acordo com o IPCC, k = 0,07 para o papel e k = 0,17 para resíduos orgânicos. Fazendo uma média, teremos k = 0,12

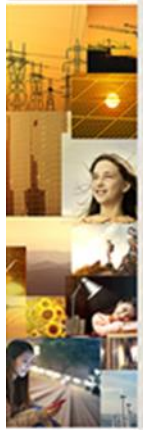

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Metodologia do IPCC
$P_x = \frac{Q_x \times Pc_{metano} \times \eta \times E}{31536000}$
Temos:
P_x: potência disponível a cada ano (kW)
Q_x: vazão de metano a cada ano (m^3CH_4/ano)
Pc: poder calorífico de metano = 35800 kJ/m^3 CH_4
η: Eficiência do motor = 28%
E_c: eficiência de coleta de gases (%) = 75%, considerando que o sistema de coleta foi bem projetado e minimizado fraturas de escape do biogás

Classificação: Público

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

Vazão de metano e potencial energético (Formiga)

TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.

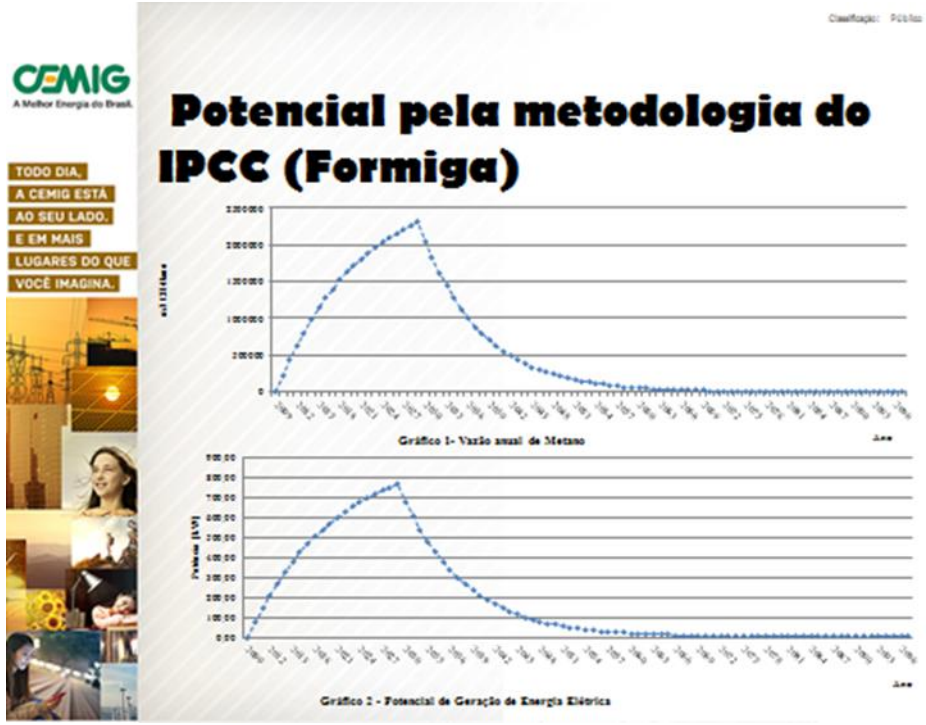


Ano	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano)	Potência (kW)
2008	0	0
2009	0	0
2010	328.629,24	78,34
2011	620.960,07	148,03
2012	881.066,83	210,04
2013	1.122.624,65	267,63
2014	1.365.541,19	325,54
2015	1.584.820,14	377,81
2016	1.783.134,41	425,09
2017	1.962.854,70	467,93
2018	2.126.083,59	506,85
2019	2.274.685,93	542,27
2020	2.410.315,68	574,61
2021	2.534.439,78	604,2
2022	2.648.359,28	631,35
2023	2.753.228,11	656,35
2024	2.850.069,72	679,44
2025	2.939.791,83	700,83
2026	3.023.199,49	720,71
2027	3.101.006,76	739,26
2028	3.173.846,91	756,63

Ano	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano)	Potencia (kW)
2029	3.242.281,63	772,94
2030	2.875.645,84	685,54
2031	2.550.469,06	608,02
2032	2.262.063,14	539,26
2033	2.006.270,02	478,28
2034	1.779.401,89	424,2
2035	1.578.187,90	376,23
2036	1.399.727,10	333,69
2037	1.241.446,57	295,95
2038	1.101.064,33	262,49
2039	976.556,46	232,81
2040	866.127,88	206,48
2041	768.186,52	183,13
2042	681.320,32	162,42
2043	604.276,92	144,06
2044	535.945,55	127,77
2045	475.341,06	113,32
2046	421.589,70	100,5
2047	373.916,52	89,14
2048	331.634,20	79,06

Ano	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano)	Potência (kW)
2029	3.242.281,63	772,94
2030	2.875.645,84	685,54
2031	2.550.469,06	608,02
2032	2.262.063,14	539,26
2033	2.006.270,02	478,28
2034	1.779.401,89	424,2
2035	1.578.187,90	376,23
2036	1.399.727,10	333,69
2037	1.241.446,57	295,95
2038	1.101.064,33	262,49
2039	976.556,46	232,81
2040	866.127,88	206,48
2041	768.186,52	183,13
2042	681.320,32	162,42
2043	604.276,92	144,06
2044	535.945,55	127,77
2045	475.341,06	113,32
2046	421.589,70	100,5
2047	373.916,52	89,14
2048	331.634,20	79,06

O aterro sanitário de Formiga teve inicio das suas atividades em 2009 e seu encerramento está previsto para 2029.


CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Potencial pela metodologia do IPCC (Formiga)
Gráfico 1- Vazão anual de Metano
Gráfico 2 - Potencial de Geração de Energia Elétrica

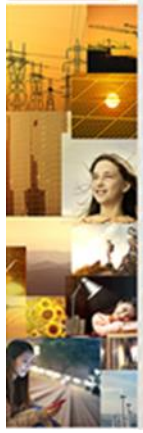
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Nº de residências
Média nacional
Nº de residencias: energia mensal(kWh/mês) / 179(kWh/mês)
Média Cemig
Nº de residencias: energia mensal(kWh/mês) / 122(kWh/mês)

Nº de residências (Formiga)

Classificação: Público

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

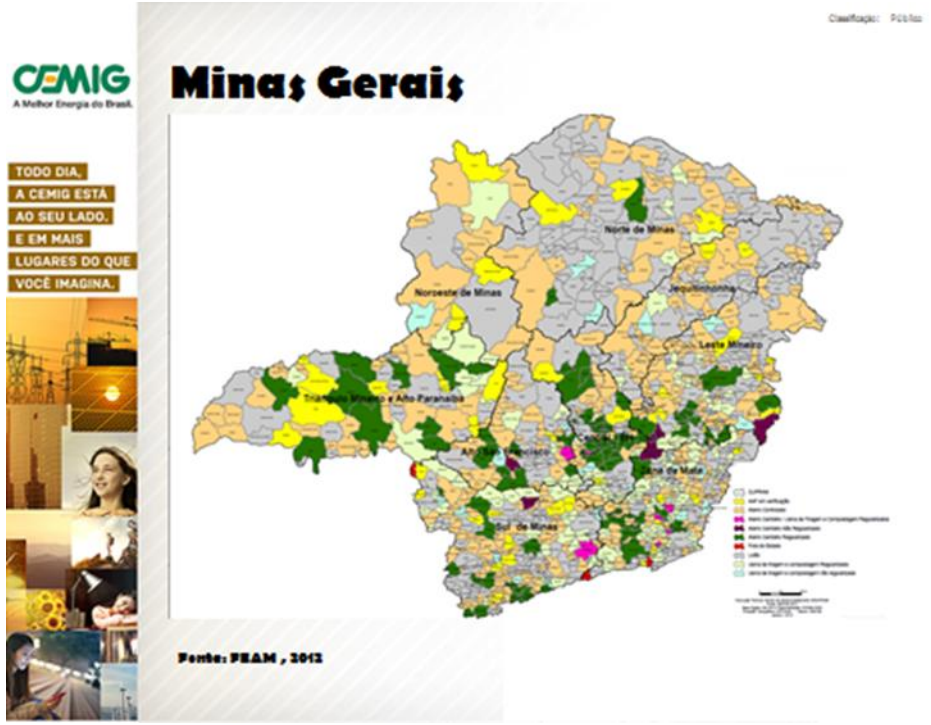
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.



Ano	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG)
2010	26,26	38,55
2011	49,62	72,80
2012	70,40	103,30
2013	89,71	131,62
2014	109,12	160,10
2015	126,64	185,81
2016	142,49	209,06
2017	156,85	230,13
2018	169,89	249,27
2019	181,77	266,69
2020	192,61	282,59
2021	202,52	297,15
2022	211,65	310,50
2023	220,01	322,80
2024	227,75	334,15
2025	234,91	344,67
2026	241,56	354,45
2027	247,80	363,57
2028	253,62	372,11

Ano	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG)
2029	259,09	380,14
2030	229,79	337,15
2031	205,60	299,02
2032	180,76	265,21
2033	160,32	235,22
2034	142,19	208,62
2035	126,11	185,05
2036	111,85	164,11
2037	99,20	145,55
2038	87,98	129,09
2039	78,04	114,49
2040	69,21	101,55
2041	61,38	90,06
2042	54,44	79,85
2043	48,29	70,85
2044	42,83	62,84
2045	37,98	55,73
2046	33,69	49,43
2047	29,88	43,84

Ano	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG)
2048	26,50	38,88
2049	23,50	34,49
2050	20,85	30,59
2051	18,49	27,15
2052	16,40	24,06
2053	14,54	21,34
2054	12,90	18,93
2055	11,44	16,79
2056	10,15	14,89
2057	9,00	13,20
2058	7,98	11,71
2059	7,08	10,39
2060	6,28	9,21
2061	5,57	8,17
2062	4,94	7,25
2063	4,38	6,43
2064	3,89	5,70
2065	3,45	5,06

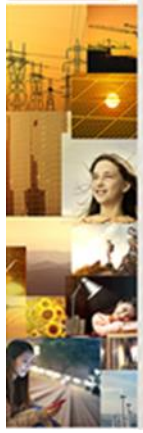

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Minas Gerais
Norte de Minas
Noroeste de Minas
Jequitinhonha
Leste Mineiro
Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba
Zona da Mata
Sul de Minas
Fonte: PEAM , 2012

Classificação: Público

Alto São Francisco

Município	Potência (kW) (2014)	Energia mensal(kwh/mês) (2014)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2014)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2014)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2014)
Bambuí	22,23	1.333,89	7	11	93.255,12
Córrego Danta	3,13	187,88	1	2	13.135,22
Formiga	325,54	19.532,23	109	160	1.365.541,19
Itaguara	65,49	3.929,10	22	32	274.692,34
Lagoa da Prata	166,29	9.977,49	56	82	697.348,60
Pains	7,93	475,72	3	4	33.258,40
Pará de Minas	685,34	41.120,51	230	337	673.996,45
TOTAL	1.275,95	76.556,82	428	628	3.151.427,33

Município	Potência (kW) (2022)	Energia mensal(kwh/mês) (2022)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2022)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2022)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2022)
Bambuí	132,35	7.940,71	44	65	555.152,61
Córrego Danta	17,22	1.032,93	6	8	72.214,71
Formiga	631,35	37.881,21	212	311	2.648.359,28
Itaguara	91,72	5.503,28	31	45	384.746,48
Lagoa da Prata	360,06	21.603,35	121	177	1.510.352,08
Pains	47,93	2.875,68	16	24	201.045,10
Pará de Minas	555,15	33.309,07	186	273	2.328.710,83
TOTAL	1.835,78	110.146,44	615	903	7.700.581,08



Central

Classificação: Público

Município	Potência (kW) (2014)	Energia mensal (kwh/mês) (2014)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2014)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2014)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2014)
Barão de Cocais	130,50	7.929,71	44	64	547.292,24
Belo Horizonte	163,42	9.905,02	55	80	685.490,92
Betim	5.113,36	306.901,54	1.714	2.515	21.449.179,59
Brumadinho	92,39	5.543,62	31	45	387.566,96
Cachoeira da Prata	2,97	232,17	1	2	16.231,42
Caeté	225,29	13.517,00	76	111	945.003,39
Capim Branco	42,79	2.566,69	14	21	179.443,01
Confins	42,71	2.563,59	14	21	179.156,15
Contagem	4.954,35	297.361,10	1.661	2.437	20.792.180,47
Curvelo	368,90	16.134,19	90	132	1.127.994,07
Ibirité	795,53	47.731,54	267	391	3.337.017,49
Igarapé	303,15	18.188,98	102	149	1.271.632,08
Inimutaba	1,94	116,20	1	1	8.123,90
Itabirito	42,79	2.566,69	14	21	179.443,01
Lagoa Santa	969,39	52.163,08	291	428	5.585.861,24
Mário Campos	155,86	9.351,37	52	77	653.774,04
Matozinhos	185,71	11.142,37	62	91	778.997,51
Moeda	21,00	1.260,19	7	10	304.190,44
Morro da Garça	2,44	146,45	1	1	10.238,36
Nova Lima	996,60	59.196,23	331	485	4.138.539,53
Pedro Leopoldo	320,59	19.235,15	107	158	1.344.771,82
Raposos	74,41	4.464,58	25	37	312.139,48
Rio Acima	60,57	3.633,99	20	30	254.060,32
Sabará	699,32	41.999,20	234	343	2.929.266,04
Santana do Riacho	23,49	1.409,55	8	12	98.544,81
São Gonçalo do Rio Abaixo	10,03	601,64	3	5	42.062,12
São José da Lapa	20,76	1.245,51	7	10	87.076,49
Sarzedo	274,99	16.499,66	92	135	1.153.527,42
Sete Lagoas	713,97	42.838,19	239	351	2.994.908,71
Vespasiano	1.072,03	64.321,22	359	527	4.496.939,03
TOTAL	17.671,10	1.060.265,42	5.915	8.691	76.290.614,94

Classificação: Público

Central

Município	Potência (kW) (2022)	Energia mensal (kwh/mês) (2022)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2022)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2022)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2022)
Belo do Cocais	212,15	12.727,72	71	104	889.822,85
Belo Horizonte	238,85	14.332,93	80	117	1.002.046,98
Belém	2.690,12	161.407,07	902	1.325	11.284.334,84
Boumalinho	331,29	19.877,57	111	163	1.389.670,75
Cachoeira da Prata	23,10	1.385,84	8	11	96.867,45
Castil	316,66	18.999,45	106	156	1.328.295,59
Casim Branco	59,45	3.569,09	20	29	249.523,01
Confins	61,60	3.695,96	21	30	258.392,70
Contagem	4.585,49	275.009,45	1.536	2.254	19.226.530,57
Curvelo	1.651,46	97.887,73	547	802	6.843.547,54
Ibirité	1.205,91	72.354,70	404	593	5.056.477,16
Igarapé	159,49	9.569,15	53	78	666.996,74
Inimutaba	11,34	680,24	4	6	47.557,12
Itabirito	59,45	3.569,09	20	29	249.523,01
Lagoa Santa	1.331,84	79.896,22	446	655	5.646.836,50
Mário Campos	82,00	4.919,75	27	40	343.948,51
Matozinhos	265,91	15.954,55	89	131	1.115.440,72
Moeda	28,00	1.679,84	9	14	117.441,09
Morro da Garça	13,34	800,13	4	7	55.939,21
Nova Lima	1.462,21	87.732,54	490	719	6.133.573,72
Pedro Leopoldo	435,06	25.963,85	145	213	1.816.566,15
Raposos	103,45	6.206,95	35	51	434.060,09
Rio Acima	55,32	3.299,19	30	45	370.478,19
Sabará	959,75	59.385,67	332	487	4.151.844,53
Santana do Riacho	32,55	1.972,75	11	16	137.916,99
São Gonçalo do Rio Abaixo	65,25	3.794,05	21	31	265.245,55
São José da Lapa	119,42	7.164,95	40	59	500.917,62
Sarzedo	144,67	8.680,45	48	71	606.868,29
Sete Lagoas	1.549,07	110.944,12	620	909	7.756.548,53
Vespasiano	1.620,66	97.240,83	543	797	6.796.307,66
TOTAL	20.212,06	1.212.723,72	6.760	9.940	82.845.170,19

Leste Mineiro

Município	Potência (kW) (2014)	Energia mensal (kwh/mês) (2014)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2014)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2014)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2014)
Belo Oriente	145,40	8.723,93	49	72	609.909,50
Caratinga	569,95	34.197,21	191	280	2.390.802,24
Coronel Fabriciano	885,61	53.136,60	297	436	3.714.897,02
Governador Valadares	2.246,06	134.763,54	753	1.105	9.421.617,32
Ipatinga	2.059,81	123.588,70	690	1.013	8.640.359,28
Itabira	284,21	17.052,86	95	140	1.192.203,45
Mariléria	25,08	1.504,86	8	12	105.208,43
Resplendor	75,53	4.531,78	25	37	316.826,94
Santana do Paraíso	166,58	9.994,54	56	82	698.740,05
Timóteo	638,46	38.307,43	214	314	2.678.157,10
TOTAL	7.096,69	425.801,46	2.379	2.477	29.768.721,32

Município	Potência (kW) (2022)	Energia mensal (kwh/mês) (2022)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2022)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2022)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2022)
Belo Oriente	197,20	11.832,14	66	97	827.211,38
Caratinga	880,53	52.831,86	295	433	3.693.592,00
Coronel Fabriciano	1.110,42	66.625,36	372	546	4.657.926,37
Governador Valadares	2.865,04	171.902,64	960	1.409	12.018.093,53
Ipatinga	2.689,06	161.343,50	901	1.322	11.279.881,06
Itabira	970,45	58.226,99	325	477	4.070.777,32
Mariléria	30,04	1.802,15	10	15	125.992,37
Resplendor	121,46	7.287,61	41	60	509.492,88
Santana do Paraíso	249,96	14.997,58	84	123	1.048.513,97
Timóteo	830,89	49.853,56	279	409	3.485.372,55
TOTAL	9.945,05	596.703,39	3.334	3.569	41.716.853,43

Norte de Minas

Município	Potência (kW) (2014)	Energia mensal(kwh/mês) (2014)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2014)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2014)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2014)
Janaúba	220,78	13.246,85	74	109	926.116,28
Pirapora	261,29	15.677,20	88	129	1.096.027,85
TOTAL	482,07	28.924,05	162	237	2.022.144,13

Município	Potência (kW) (2022)	Energia mensal(kwh/mês) (2022)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2022)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2022)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2022)
Janaúba	544,69	32.681,16	183	268	2.284.812,41
Pirapora	471,85	28.310,78	158	232	1.979.268,93
TOTAL	1.016,54	60.991,94	341	500	4.264.081,34

Classificação: Público

Sul de Minas

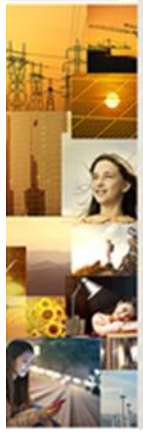
Município	Potência (kW) (2014)	Energia mensal(kwh/mês) (2014)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2014)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2014)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2014)
Alfenas	175,13	10.509,26	59	86	734.725,62
Andradas	1,95	117,16	1	1	8.190,62
Borda da Mata	17,58	1.054,94	6	9	73.753,16
Camanducaia	25,92	1.555,24	9	13	108.730,47
Carmo do Rio Claro	20,44	1.226,19	7	10	85.725,64
Delfim Moreira	26,38	1.582,55	9	13	110.639,37
Extrema	38,87	2.332,32	13	19	163.057,99
Itajubá	377,12	22.627,35	126	185	1.581.927,83
Itaú de Minas	49,65	2.979,27	17	24	208.287,22
Passa-Quatro	16,76	1.005,58	6	8	70.302,64
Piranguçu	17,20	1.032,28	6	8	72.169,22
Piranguinho	26,61	1.596,73	9	13	111.631,25
Pouso Alegre	168,52	10.111,10	56	83	706.889,47
São José do Alegre	13,18	791,10	4	6	55.307,27
Três Corações	600,08	36.004,66	201	295	34.816,85
Wenceslau Brás	8,30	498,01	3	4	34.816,85
TOTAL	**1.575,41**	**95.023,74**	**474**	**779**	**4.160.971,47**

Classificação: Público

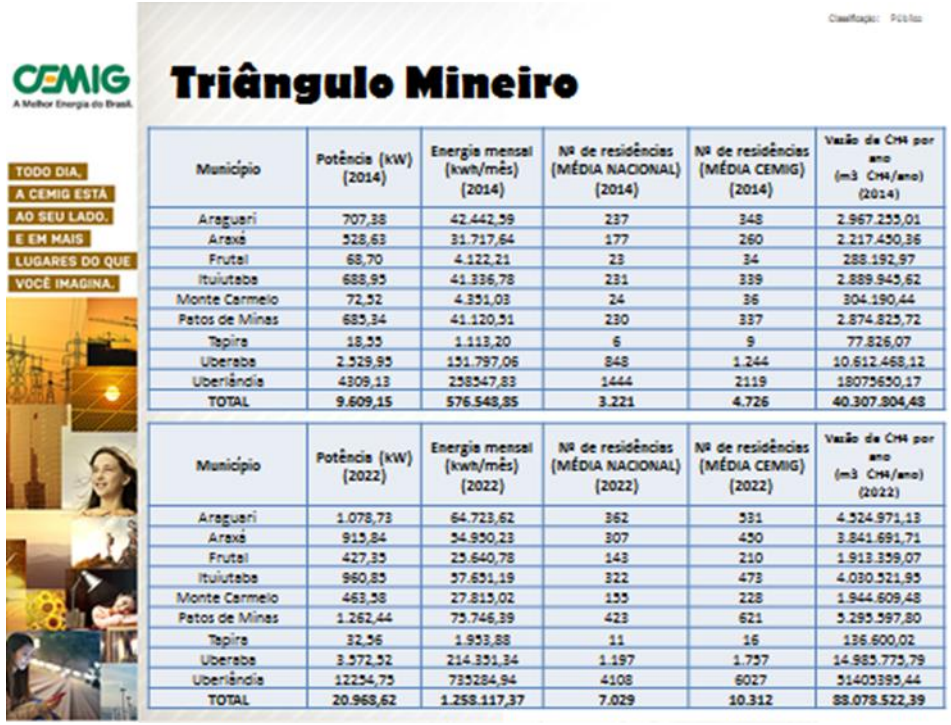
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

Sul de Minas

TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.



Município	Potência (kW) (2022)	Energia mensal(kwh/mês) (2022)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2022)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2022)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2022)
Alfenas	589,54	35.372,53	198	290	2.472.971,50
Andradas	11,43	685,84	4	6	47.948,31
Borda da Mata	109,86	6.591,48	37	54	460.824,95
Camanducaia	163,90	9.834,01	55	81	687.517,41
Carmo do Rio Claro	125,63	7.537,73	42	62	526.979,41
Delfim Moreira	54,45	3.267,07	18	27	228.407,91
Extrema	261,85	15.711,22	88	129	1.098.406,34
Itajubá	779,06	46.743,39	261	383	3.267.933,63
Itaú de Minas	101,77	6.105,98	34	50	426.882,66
Passa-Quatro	102,92	6.175,20	34	51	431.721,56
Piranguçu	34,87	2.092,25	12	17	146.273,49
Piranguinho	54,65	3.278,81	18	27	164.311,04
Pouso Alegre	1.060,17	63.609,96	355	521	4.447.112,98
São José do Alegre	26,69	1.601,63	9	13	111.973,61
Três Corações	762,71	45.762,42	256	375	68.084,74
Wenceslau Brás	16,23	973,86	5	8	68.084,74
TOTAL	**4.239,49**	**255.343,36**	**1.071**	**2.093**	**14.655.434,27**

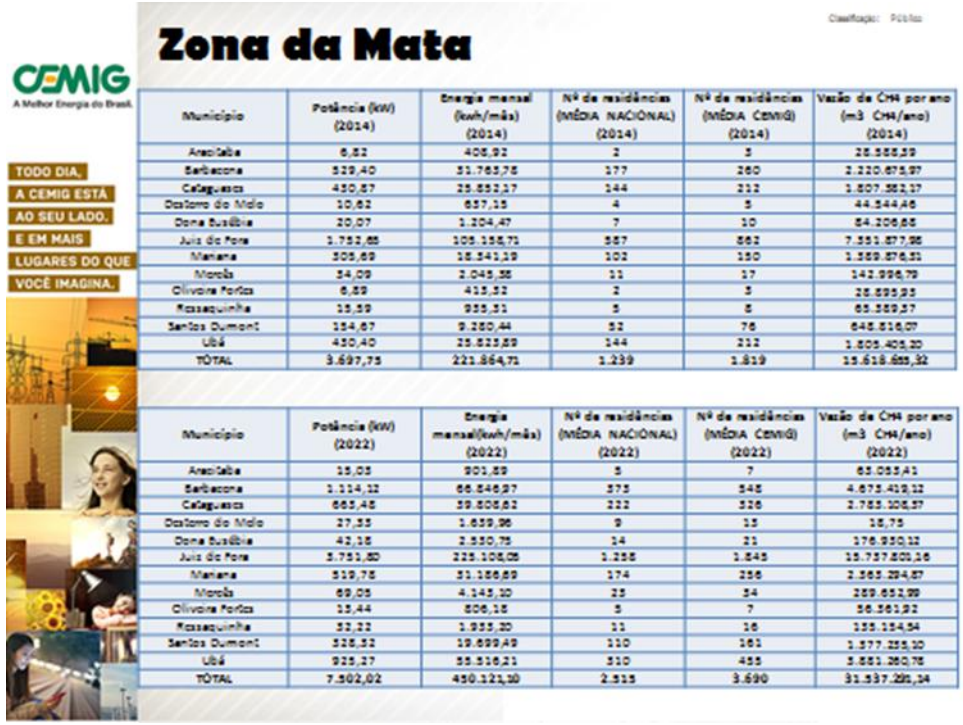


Classificação: Público

Triângulo Mineiro

Município	Potência (kW) (2014)	Energia mensal (kwh/mês) (2014)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2014)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2014)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2014)
Araguari	707,38	42.442,59	237	348	2.967.255,01
Araxá	528,63	31.717,64	177	260	2.217.450,36
Frutal	68,70	4.122,21	23	34	288.192,97
Ituiutaba	688,95	41.336,78	231	339	2.889.945,62
Monte Carmelo	72,52	4.351,03	24	36	304.190,44
Patos de Minas	685,34	41.120,51	230	337	2.874.825,72
Tapira	18,55	1.113,20	6	9	77.826,07
Uberaba	2.529,95	151.797,06	848	1.244	10.612.468,12
Uberlândia	4309,13	258547,83	1444	2119	18075650,17
TOTAL	9.609,15	576.548,85	3.221	4.726	40.307.804,48

Município	Potência (kW) (2022)	Energia mensal (kwh/mês) (2022)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2022)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2022)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2022)
Araguari	1.078,73	64.723,62	362	531	4.524.971,13
Araxá	915,84	54.950,23	307	450	3.841.691,71
Frutal	427,35	25.640,78	143	210	1.913.359,07
Ituiutaba	960,85	57.651,19	322	473	4.030.521,95
Monte Carmelo	463,58	27.815,02	155	228	1.944.609,48
Patos de Minas	1.262,44	75.746,39	423	621	5.295.597,80
Tapira	32,96	1.953,88	11	16	136.600,02
Uberaba	3.572,52	214.351,34	1.197	1.757	14.985.775,79
Uberlândia	12234,75	735284,94	4108	6027	51405395,44
TOTAL	20.968,62	1.258.117,37	7.029	10.312	88.078.522,39



Zona da Mata

Classificação: Pólos

Município	Potência (kW) (2014)	Energia mensal (kwh/mês) (2014)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2014)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2014)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2014)
Araponga	6,82	408,92	2	3	28.568,29
Barbacena	529,40	31.763,76	177	260	2.220.673,97
Cataguases	450,67	25.853,17	144	212	1.807.382,17
Doutor do Mato	10,62	637,15	4	5	44.544,46
Dona Euzébia	20,07	1.204,47	7	10	84.206,66
Juiz de Fora	1.752,66	105.158,71	587	862	7.351.877,96
Mariana	305,69	18.341,19	102	150	1.282.676,31
Morada	34,09	2.045,55	11	17	142.996,79
Oliveira Fortes	8,89	413,51	2	3	28.895,93
Rosaquinha	15,59	935,31	5	8	65.389,57
Santos Dumont	154,67	9.280,44	52	76	648.816,07
Ubá	450,40	25.823,89	144	212	1.805.405,20
TOTAL	3.697,75	221.864,71	1.239	1.819	15.518.655,32

Município	Potência (kW) (2022)	Energia mensal(kwh/mês) (2022)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2022)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2022)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2022)
Araponga	15,03	901,89	5	7	63.053,41
Barbacena	1.114,12	66.846,97	375	545	4.673.419,12
Cataguases	665,48	39.806,62	222	326	2.785.108,37
Doutor do Mato	27,33	1.639,96	9	13	16,75
Dona Euzébia	42,16	2.530,75	14	21	176.950,12
Juiz de Fora	3.751,80	225.108,05	1.255	1.845	15.737.801,16
Mariana	519,75	31.186,69	174	256	2.365.294,87
Morada	69,05	4.143,30	23	34	289.652,99
Oliveira Fortes	13,44	806,16	5	7	56.361,92
Rosaquinha	32,22	1.933,20	11	16	135.154,54
Santos Dumont	328,32	19.699,49	110	161	1.377.255,10
Ubá	925,27	55.516,21	310	455	3.881.260,76
TOTAL	7.502,02	450.121,30	2.515	3.690	31.537.291,14

Classificação: Público

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.

Regionais

Região	Potência (kW) (2014)	Energia mensal (kwh/mês) (2014)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2014)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2014)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2014)
ALTO SÃO FRANCISCO	1.275,95	76.556,92	429	629	2.151.427,39
CENTRAL	17.671,10	1.060.265,42	5.915	8.691	76.190.614,94
LESTE MINEIRO	7.096,69	425.801,46	2.379	2.477	29.768.721,32
NORTE DE MINAS	482,07	28.924,05	162	237	2.022.144,13
SUL DE MINAS	1.575,41	95.033,74	474	779	4.160.971,47
TRIÂNGULO MINEIRO	9.609,15	576.549,85	3.221	4.726	40.307.804,48
ZONA DA MATA	3.697,75	221.864,71	1.239	1.819	15.518.655,32
TOTAL DE MINAS GERAIS	41.408,12	2.484.995,04	13.818	19.356	171.310.339,01

Região	Potência (kW) (2022)	Energia mensal (kwh/mês) (2022)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2022)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2022)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2022)
ALTO SÃO FRANCISCO	1.835,79	110.146,44	615	903	7.700.581,08
CENTRAL	20.211,06	1.212.723,72	6.760	9.940	82.945.170,19
LESTE MINEIRO	9.945,05	596.702,29	3.334	3.569	41.716.953,43
NORTE DE MINAS	1.016,54	60.991,94	341	500	4.264.081,24
SUL DE MINAS	4.229,49	253.343,36	1.071	2.093	14.655.434,27
TRIÂNGULO MINEIRO	20.968,62	1.258.117,27	7.029	10.312	88.078.322,39
ZONA DA MATA	7.502,02	450.121,10	2.515	3.690	31.527.291,14
TOTAL DE MINAS GERAIS	65.718,57	3.944.147,32	21.665	31.006	270.797.933,85

Resultados das outras cidades que não possuem aterro sanitário

Classificação	Potência (kW) (2014)	Energia mensal (kwh/mês) (2014)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2014)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2014)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2014)
AAF´S EM VERIFICAÇÃO	2.122,85	127.370,84	711,57	1.044,02	8.904.776,81
ATERRO CONTROLADO	18.686,75	1.121.204,72	6.263,71	9.190,20	78.385.900,37
ATERRO SANITÁRIO E USINA DE TRIAGEM	745,31	44.718,80	249,83	366,55	3.126.390,36
ATERRO SANITÁRIO NÃO REGULARIZADO	1.050,43	63.025,84	352,10	516,61	4.406.275,99
FORA DO ESTADO	18,82	1.129,36	6,31	9,26	78.955,74
LIXÃO	26.660,66	1.599.639,68	8.936,53	13.111,80	111.834.346,54
USINA DE TRIAGEM NÃO REGULARIZADA	588,06	35.283,31	197,11	289,21	2.466.733,91
USINA DE TRIAGEM REGULARIZADA	5.274,08	316.444,63	1.767,85	2.593,81	22.123.343,60
TOTAL	55.146,96	3.308.817,17	18.485,01	27.121,45	231.326.723,32

Classificação	Potência (kW)) (2022)	Energia mensal (kwh/mês) (2022)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2022)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2022)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2022)
AAF'S EM VERIFICAÇÃO	3.818,39	229.103,77	1.279,90	1.877,89	16.017.081,25
ATERRO CONTROLADO	33.611,97	2.016.718,28	11.266,58	16.530,48	140.993.240,18
ATERRO SANITÁRIO E USINA DE TRIAGEM	1.340,60	80.436,01	449,36	659,31	5.623.459,13
ATERRO SANITÁRIO NÃO REGULARIZADO	1.889,42	113.365,00	633,22	929,22	7.925.597,91
FORA DO ESTADO	33,96	2.031,38	11,35	16,65	142.018,21
LIXÃO	47.954,71	2.877.282,53	16.074,20	23.584,28	201.157.182,71
USINA DE TRIAGEM NÃO REGULARIZADA	1.057,74	63.464,22	354,55	520,20	4.436.930,68
USINA DE TRIAGEM REGULARIZADA	9.486,52	569.191,06	3.179,84	4.665,50	39.793.405,23
TOTAL	99.193,20	5.951.591,45	33.249,11	48.783,54	416.088.915,30

Classificação: Público

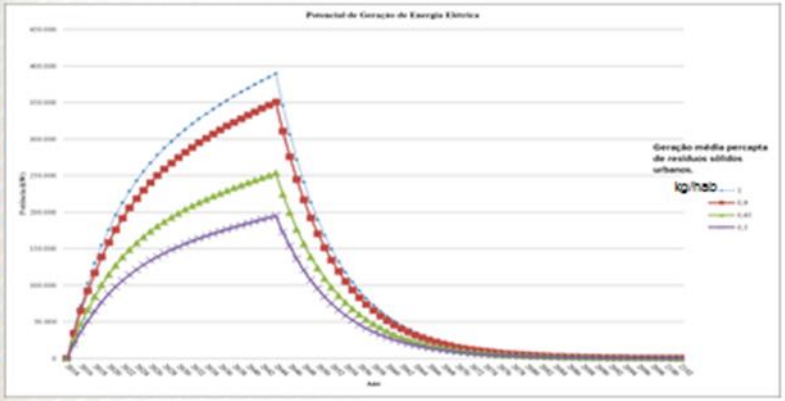
Potencial de biogás no estado de Minas Gerais (2014)

Classificação	Potencia (kW) (2014)	Energia mensal (kwh/mês) (2014)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2014)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2014)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2014)
AAF'S EM VERIFICAÇÃO	2.122,85	127.370,84	711,57	1.044,02	8.904.776,81
ATERRO CONTROLADO	18.686,75	1.121.204,72	6.263,71	9.190,20	78.385.900,37
ATERRO SANITÁRIO E USINA DE TRIAGEM	745,31	44.718,80	249,83	366,55	3.126.290,36
ATERRO SANITÁRIO NÃO REGULARIZADO	1.050,42	63.025,24	352,10	516,61	4.406.275,99
FORA DO ESTADO	18,92	1.139,36	6,31	9,26	79.955,74
LIXÃO	26.660,66	1.599.639,68	8.936,53	13.111,90	111.824.346,54
USINA DE TRIAGEM NÃO REGULARIZADA	588,06	35.283,31	197,11	289,21	2.466.732,91
USINA DE TRIAGEM REGULARIZADA	5.274,09	316.444,63	1.767,85	2.593,81	22.123.343,60
ATERRO SANITÁRIO	41.408,12	2.484.985,04	13.877,64	19.355,90	171.310.339,01
TOTAL	96.555,08	5.793.802,22	32.302,66	46.477,35	402.637.052,33

Classificação	Potencia (kW) (2022)	Energia mensal (kWh/mês) (2022)	Nº de residências (MÉDIA NACIONAL) (2022)	Nº de residências (MÉDIA CEMIG) (2022)	Vazão de CH4 por ano (m3 CH4/ano) (2022)
APF'S EM VERIFICAÇÃO	3.818,38	229.102,77	1.279,90	1.977,89	16.017.081,25
ATERRO CONTROLADO	23.611,97	2.016.718,39	11.266,58	16.530,46	140.993.240,18
ATERRO SANITÁRIO E USINA DE TRIAGEM	1.340,60	80.436,01	449,36	659,31	5.623.459,13
ATERRO SANITÁRIO NÃO REGULARIZADO	1.889,42	113.365,00	633,32	929,22	7.925.597,91
FORA DO ESTADO	33,86	2.031,38	11,35	16,65	142.018,21
LIXÃO	47.954,71	2.877.282,53	16.074,30	23.584,29	201.157.182,71
USINA DE TRIAGEM NÃO REGULARIZADA	1.057,74	63.464,32	354,55	520,20	4.436.930,69
USINA DE TRIAGEM REGULARIZADA	9.486,52	569.191,06	3.179,84	4.665,50	39.793.405,23
ATERRO SANITÁRIO	65.719,57	3.944.147,22	21.664,57	31.006,15	270.797.922,85
TOTAL	164.912,77	9.932.274,45	54.913,69	79.799,69	696.886.849,15

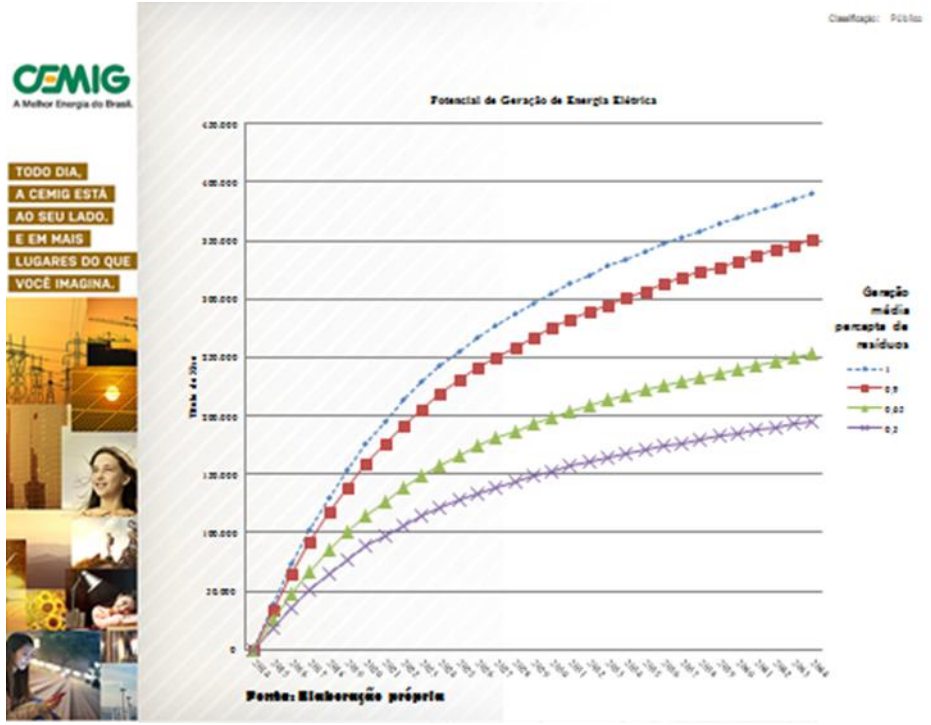
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.

Potência disponível em Minas Gerais

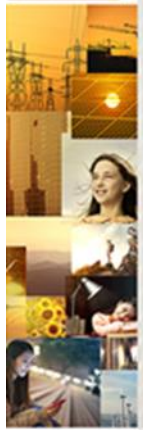


Fonte: Elaboração própria

Como foi agrupado todas as cidades em um só aterro não e possível ter uma geração média *per capita* de resíduos sólidos urbanos, pois esta quantidade depende de alguns fatores como costumes e hábitos da sociedade mais segundo dados da FEAM(2012) foram divididos por quatro faixas de comparação com base no número de habitantes.


CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Potencial de Geração de Energia Elétrica
Geração média percapta de resíduos
Fonte: Elaboração própria

Conclusão

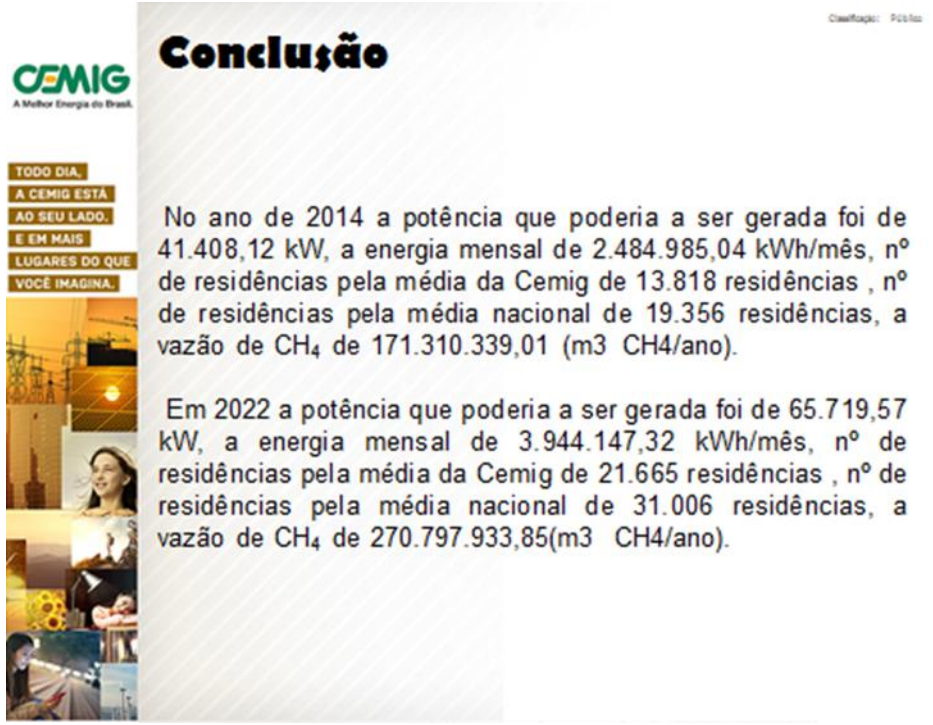


Objetivo do trabalho foi atingido.

O estado de Minas Gerais ainda tem muito pouco aterro sanitário.

Devido as dificuldades para encontrar dados das cidades o estudo é uma estimação da realidade.

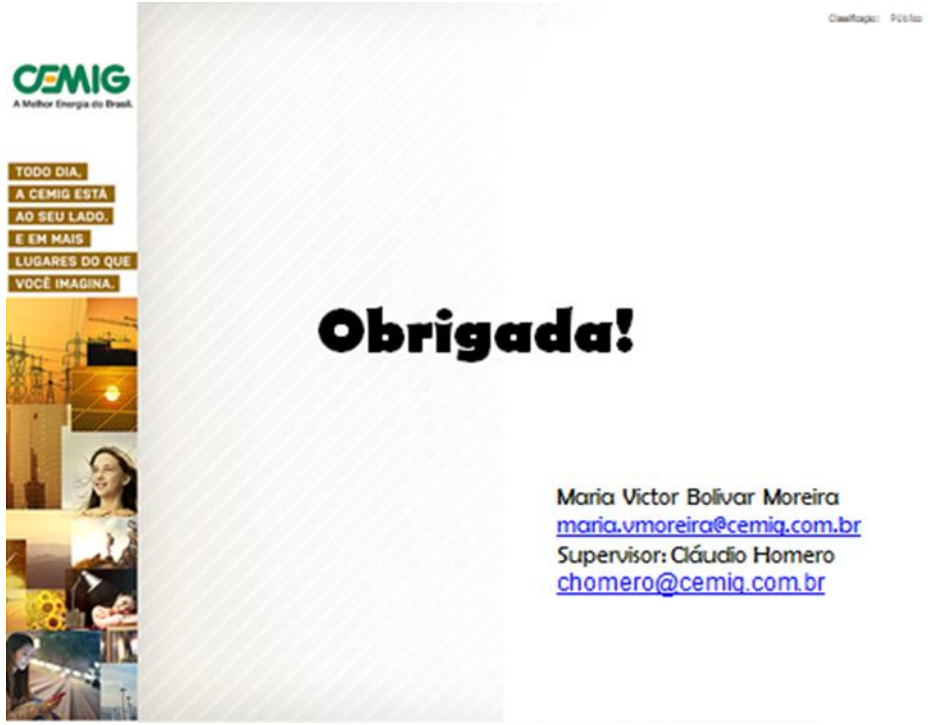
O estudo abre frentes para novos estudos de viabilidade econômica.



Conclusão

No ano de 2014 a potência que poderia a ser gerada foi de 41.408,12 kW, a energia mensal de 2.484.985,04 kWh/mês, nº de residências pela média da Cemig de 13.818 residências , nº de residências pela média nacional de 19.356 residências, a vazão de CH_4 de 171.310.339,01 (m3 CH4/ano).

Em 2022 a potência que poderia a ser gerada foi de 65.719,57 kW, a energia mensal de 3.944.147,32 kWh/mês, nº de residências pela média da Cemig de 21.665 residências , nº de residências pela média nacional de 31.006 residências, a vazão de CH_4 de 270.797.933,85(m3 CH4/ano).


CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
TODO DIA,
A CEMIG ESTÁ
AO SEU LADO.
E EM MAIS
LUGARES DO QUE
VOCÊ IMAGINA.
Obrigada!
Maria Victor Bolivar Moreira
maria.vmoreira@cemig.com.br
Supervisor: Cláudio Homero
chomero@cemig.com.br

2013

CEMIG
Energia Nuclear
Situação atual e Perspectivas futuras
Dez / 2013
Mariana Pires Magalhães

CENÁRIO ATUAL

Aumento da demanda por energia

Necessidade de diminuição da emissão de poluente

Esgotamento de Recursos Fósseis

Necessidade de Produção de energia mais limpa

Aumento do Investimento em Fontes Renováveis

Fonte da Imagem: Cultura MIX

CEMIG

Fontes Renováveis
Fatores Climáticos
Sazonalidade de Produção
Investimentos Elevados
Baixa capacidade de geração
Disponibilidade de Recursos
CEMIG

Energia nuclear

- Garantia de Fornecimento
- Espaço Reduzido

- Ampla Capacidade de Produção
- Disponibilidade de Combustível

N U C L E A R

Fonte da imagem: FEM UNICAMP
Alunos online

CEMIG

Conceito

Fissão

U-235
U-233
PU-239

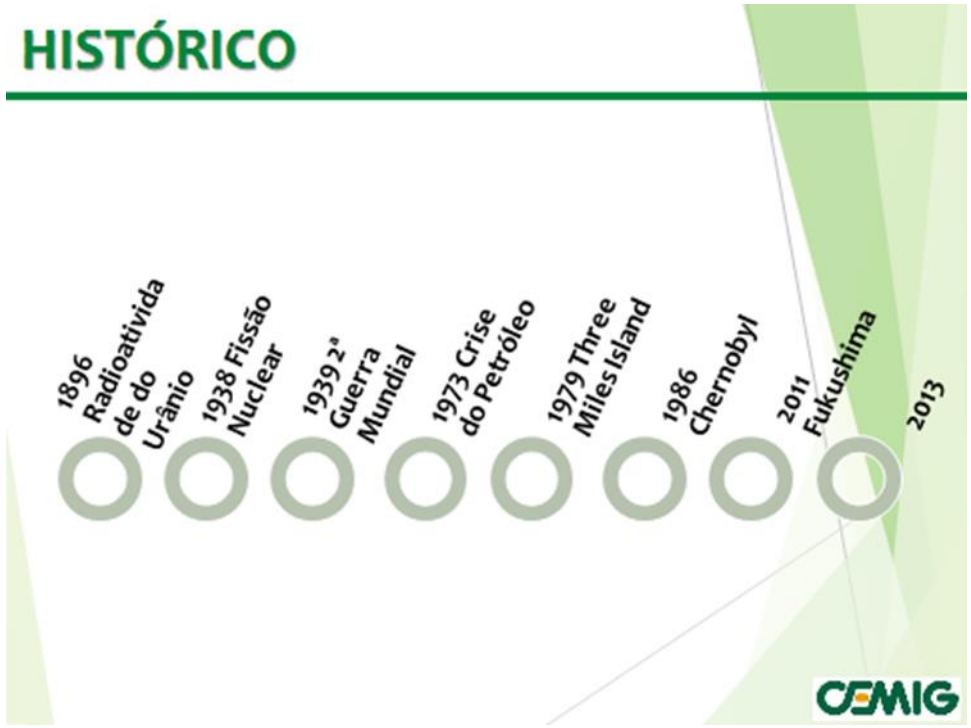
- CENTRAL TÉRMICA
- REJEITOS RADIOATIVOS
- VIDA ÚLTIL DAS USINAS

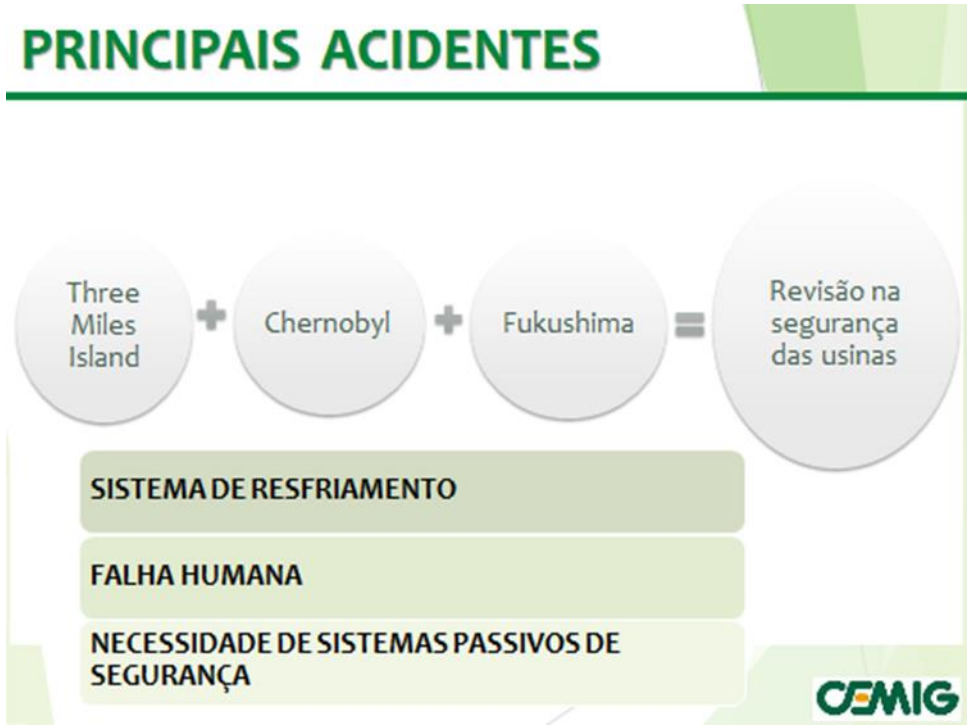
Fusão

Isótopos do Hidrogênio

Fonte da Imagem: Fred Moura

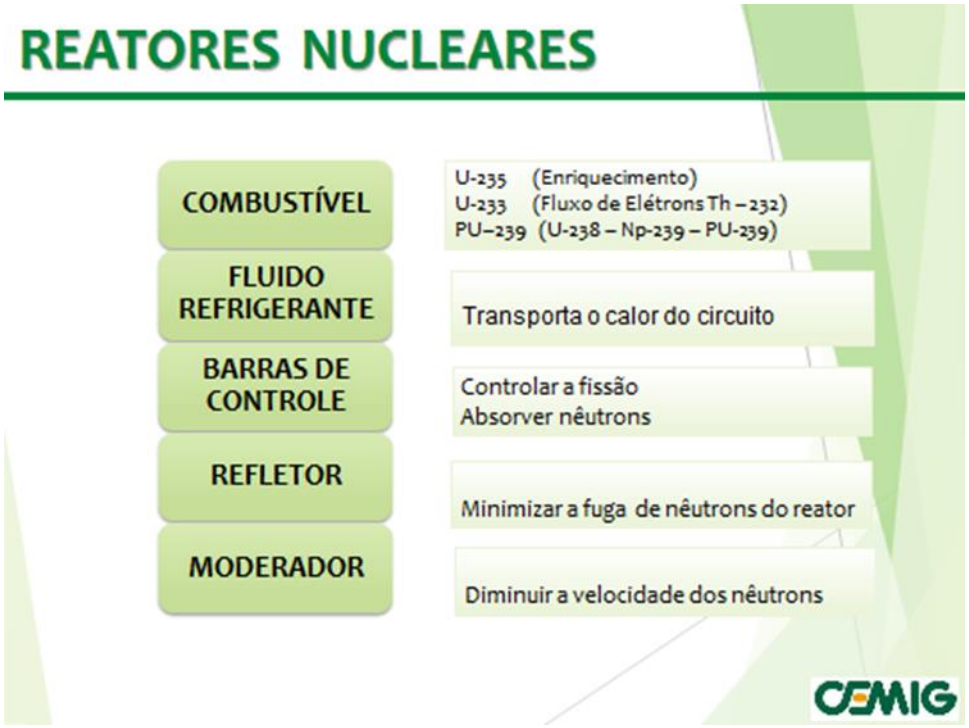
CEMIG


HISTÓRICO
1896 Radioatividade de do Urânio
1938 Fissão Nuclear
1939 2ª Guerra Mundial
1973 Crise do Petróleo
1979 Three Miles Island
1986 Chernobyl
2011 Fukushima
2013
CEMIG


PRINCIPAIS ACIDENTES
Three Miles Island
Chernobyl
Fukushima
Revisão na segurança das usinas
SISTEMA DE RESFRIAMENTO
FALHA HUMANA
NECESSIDADE DE SISTEMAS PASSIVOS DE SEGURANÇA
CEMIG

Principais DESAFIOS
Segurança
Rejeitos Radioativos
Elevados Custos de Construção e Manutenção
Terrorismo
CEMIG

REATORES NUCLEARES



REATORES NUCLEARES

Até o final de 2012 existiam :

- 437 reatores em operação no mundo
- 66 em construção
- 165 em processo de desligamento
- 247 em fase de pesquisa
- 15 com planos para reiniciar operação

65% PWR

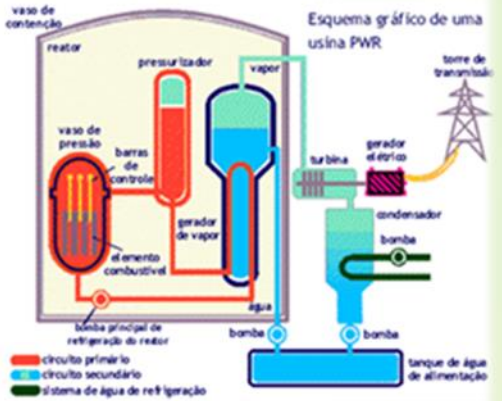
19% BWR

16 % Outros = PHWR / AGR / MAGNOX

CEMIG

REATOR PWR

- Combustível na forma de pastilhas
- Água como fluido refrigerante
- Água mantida a alta pressão
- 2 circuitos de água

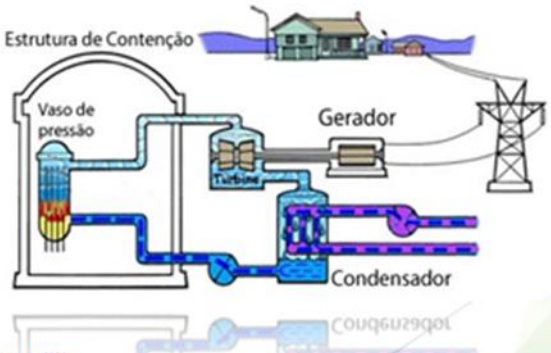


Fonte da Imagem: PCTN - Programa de pós-graduação em ciências e técnicas nucleares

CDMIG

Reator BWR

- Água como moderador e fluido refrigerante
- Vapor passa diretamente para o conjunto turbina-gerador



Fonte da imagem: Revista EXAME

CEMIG

Outros Reatores

PHWR (CANDU)	GCR	
Água pesada como refrigerante e moderador	MAGNOX	ARG
Urânio natural como combustível	Urânio Natural	Urânio Enriquecido
2 circuitos de água	Refrigerado a CO_2	
Funcionamento parecido com o PWR	Moderador Grafite	

Avanço de Reatores

REATORES	CARACTERÍSTICAS
1ª Geração 1950-1970	Primeiros protótipos Objetivo de mostrar a viabilidade Incentivar o investimento
2ª Geração 1970-1980	Inicialmente projetados para uso naval
3ª Geração	Medidas avançadas de segurança de desempenho Padronização do projeto Aumento da vida útil Aumento da taxa de queima
Geração 3+	Sistemas passivos de segurança Fase de projeto e certificação Implantação emtre 2015 e 2025
4ª Geração	Melhorar a segurança Diminuir produção de rejeitos radioativos Diminuir custos de OP e Manutenção Reciclagem de combustível Cogeração de hidrogênio Implantação a partir de 2030

Fórum Internacional da 4ª Geração: África do Sul, Argentina, Brasil, Canadá, Coréia do Sul, Estados Unidos, França, Japão, Reino Unido e Suíça

CDMIG

REATORES GERAÇÃO 3+

- **AP1000** – Westinghouse. 1154 MWe. Tipo PWR. Fase avançada de construção. Objetivo de diminuir os custos de construção.
- **ATMEA 1** – Mitsubish e Areva. 1100 – 1150 Mwe. Vida útil 60 anos
- **EPR** – Areva. 1650 MW. 4 Geradores a diesel para emergência e mais 2 como última alternativa.
- **EPR ABWR** – GE, Toshiba e Hitachi. 1350 MW. 4 unidades em operação no Japão.

TODOS POSSUEM: Sistema de refrigeração a água

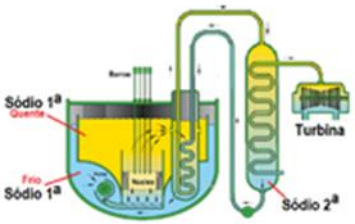
Resistência a perigos externos e internos (enchentes, acidentes de avião, terremotos).

CEMIG

REATORES GERAÇÃO 4

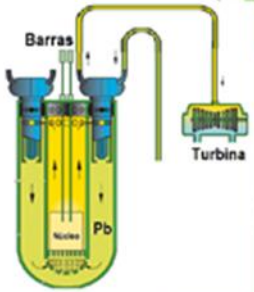
- Reator SFR

Arrefecido com sódio líquido
Baixo volume de refrigerante
Urânio natural como combustível
Geração através de um circuito secundário de sódio.



- Reator LFR

Arrefecido a chumbo
Previsão de implantação em 2025
Temp. de trabalho entre 550°C e 800°C.



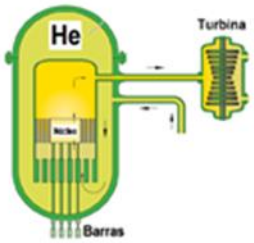
Fonte das imagens: PCTN - Programa de pós-graduação em ciências e técnicas nucleares

CEMIG

REATORES GERAÇÃO 4

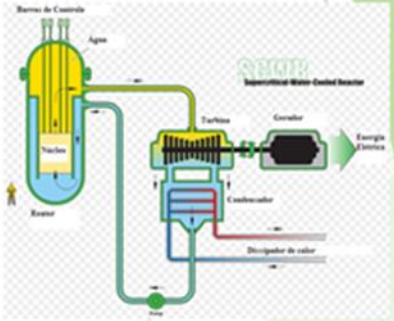
- Reator GFR

Refrigerado a hélio
Temperatura 850 C
Urânio natural
15 a 20% de plutônio



- Reator SCWR

Refrigerado a água supercrítica
22mpa 374°C
Não possui circuito secundário
Urânio Enriquecido



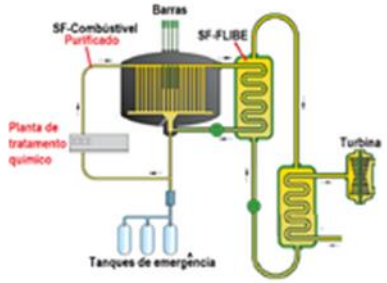
Fonte das Imagens: PCTN - Programa de pós-graduação em ciências e técnicas nucleares

CDMIG

REATORES GERAÇÃO 4

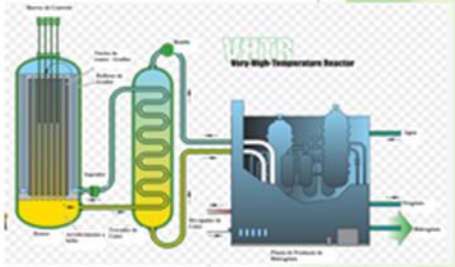
- Reator MSR

Refrigerado por: fluoreto de sódio
Reciclagem de combustível
Sistema secundário para produção de eletricidade.



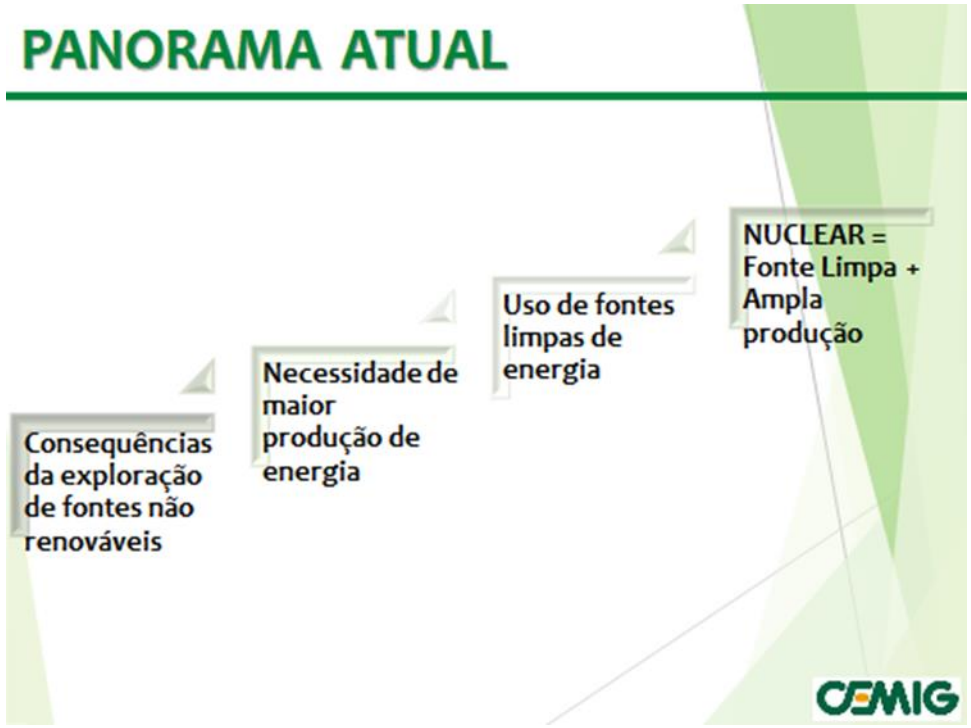
- Reator VHTR

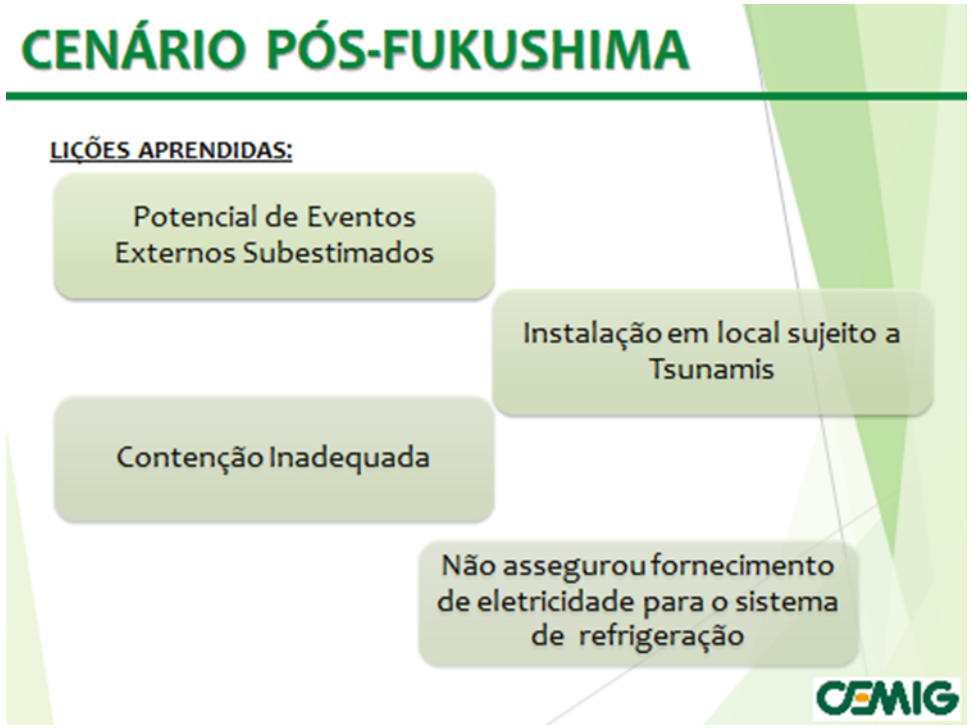
Refrigerado a hélio
Moderador grafite
Temperatura entre 900 e 1.000°C

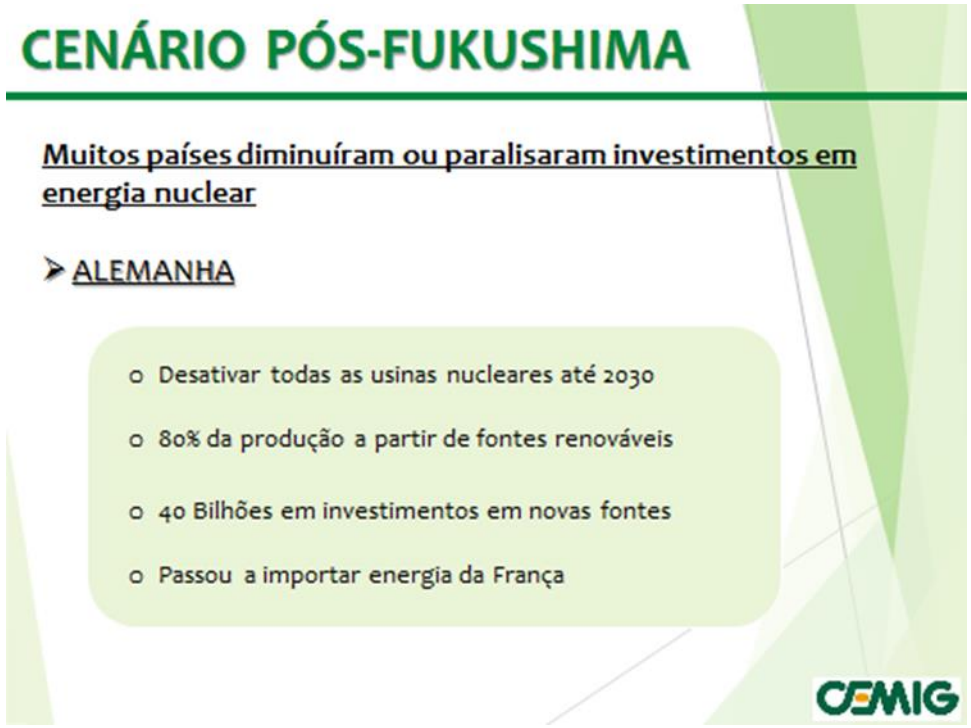


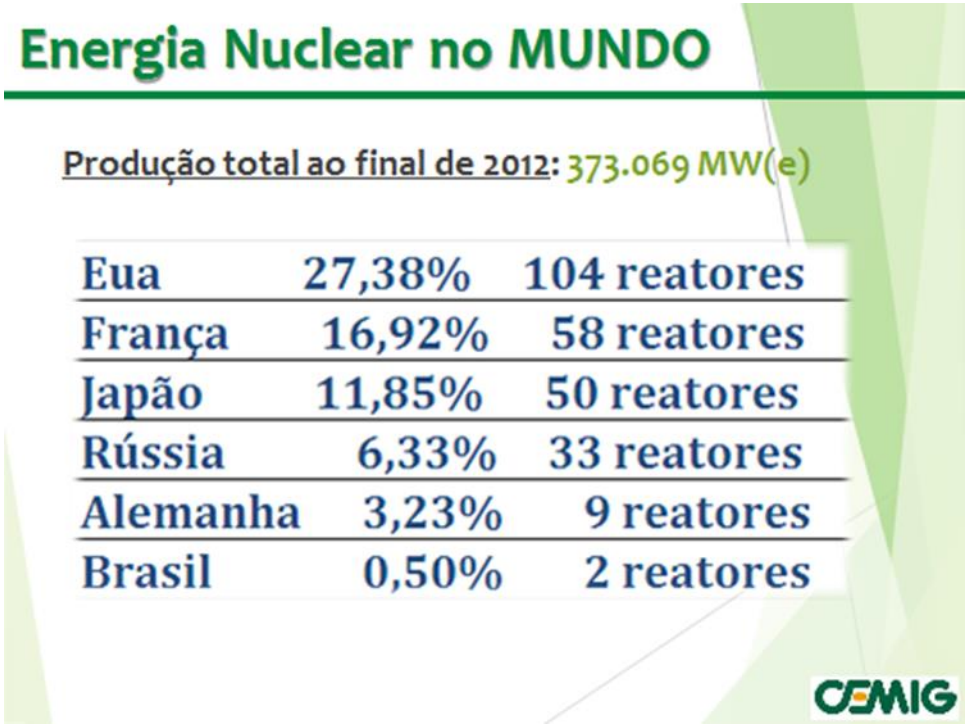
Fonte das imagens: PCTN - Programa de pós-graduação em ciências e técnicas nucleares
ENERGY.gov

CEMIG


PANORAMA ATUAL
Consequências da exploração de fontes não renováveis
Necessidade de maior produção de energia
Uso de fontes limpas de energia
NUCLEAR = Fonte Limpa + Ampla produção
CEMIG


CENÁRIO PÓS-FUKUSHIMA
LIÇÕES APRENDIDAS:
Potencial de Eventos Externos Subestimados
Instalação em local sujeito a Tsunamis
Contenção Inadequada
Não assegurou fornecimento de eletricidade para o sistema de refrigeração
CEMIG


CENÁRIO PÓS-FUKUSHIMA
Muitos países diminuíram ou paralisaram investimentos em energia nuclear
ALEMANHA
Desativar todas as usinas nucleares até 2030
80% da produção a partir de fontes renováveis
40 Bilhões em investimentos em novas fontes
Passou a importar energia da França
CEMIG


Energia Nuclear no MUNDO
Produção total ao final de 2012: 373.069 MW(e)
Eua 27,38% 104 reatores
França 16,92% 58 reatores
Japão 11,85% 50 reatores
Rússia 6,33% 33 reatores
Alemanha 3,23% 9 reatores
Brasil 0,50% 2 reatores
CEMIG

Energia Nuclear no MUNDO

Reatores em Construção : 66

Total em MW(e) = 53.337 MW Aumento de aprox 17%

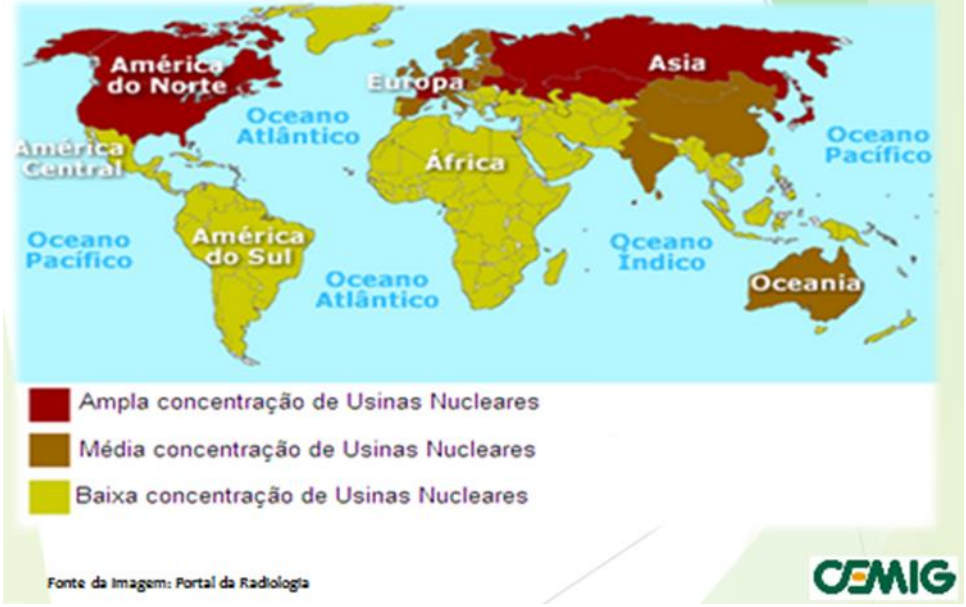
Produção mundial passaria para: 436.406 MW(e)

Maior Crescimento:

- China : 29 reatores
- Rússia: 10 reatores
- Índia: 7 reatores
- Coréia: 4 reatores

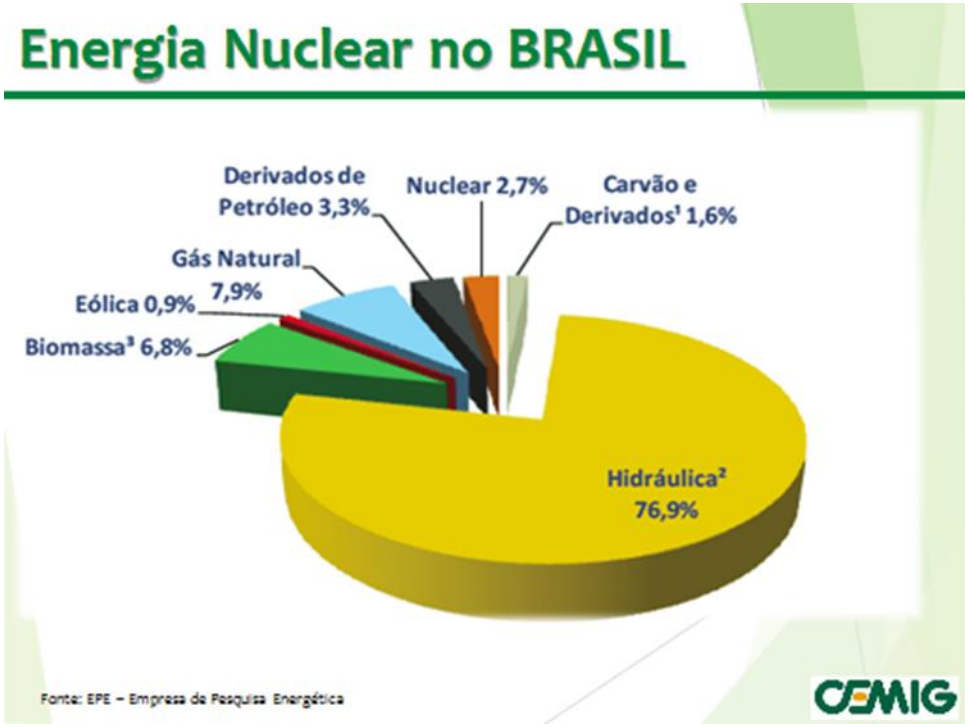
CEMIG

Energia Nuclear no MUNDO



Fonte da Imagem: Portal da Radiologia

CEMIG


Energia Nuclear no BRASIL
Derivados de Petróleo 3,3%
Nuclear 2,7%
Carvão e Derivados[1] 1,6%
Gás Natural 7,9%
Eólica 0,9%
Biomassa[3] 6,8%
Hidráulica[2] 76,9%
Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética
CEMIG

Energia Nuclear no BRASIL

REATOR PWR

ANGRA 1 - Em operação desde 1985 – Westinghouse – 657 MW

ANGRA 2 – Iniciou construção em 1981, porém foi concluída em 2000, devido a crise econômica do Brasil – Brasil e Alemanha – 1405 MW

ANGRA 3 – Obras iniciadas em 2010 (obra parada desde 1986) – Siemens/KWU – 1405 MW

Fonte das imagens: ELETROBRAS ELETRONUCLEAR

CEMIG

Energia Nuclear no BRASIL
Instalação de 2 centrais nucleares:
Central nuclear do Nordeste
Central nuclear do Sudeste
Prioridade: Central nuclear do Nordeste: 6 reatores – 6.900 MW
Plano inicial:
Início da Construção em 2008
Início da Operação: 2030
Desligamento: 2110
Situação em 2013 – Fase de identificação de área adequada
Continua nos planos do Governo...
CEMIG

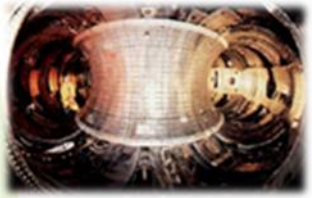
Energia Nuclear no BRASIL: RENUCLEAR
REGIME ESPECIAL DE INCENTIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE USINAS NUCLEARES
Para vendas no mercado interno ou importação de equipamentos
Isenção de imposto sobre produto industrializado
Isenção de imposto sobre importação
ANGRA 3 = 9,9 bilhões
Com a RENUCLEAR passaria para 8,9 bilhões
CEMIG

Energia Nuclear no BRASIL: Reator Multipropósito Brasileiro
Desenvolvimento nas áreas: Sáude Indústria Agricultura Meio Ambiente
Operação em baixas temperaturas
Mais compacto
Maior Fluxo de nêutrons
Menor quantidade de urânio
Urânio com enriquecimento de 20%
CUSTO = R$ 850.000.000,00
CDMIG

Tendência Futura: A FUSÃO NUCLEAR

- Estudada desde 1950
- Solução para a obtenção de energia
- Recria o processo que gera energia naturalmente no sol
- Combustível barato (isótopos)
- Não emite gases de efeito estufa
- Capacidade de produção em larga escala
- Rejeito radioativo com pequena meia vida

1



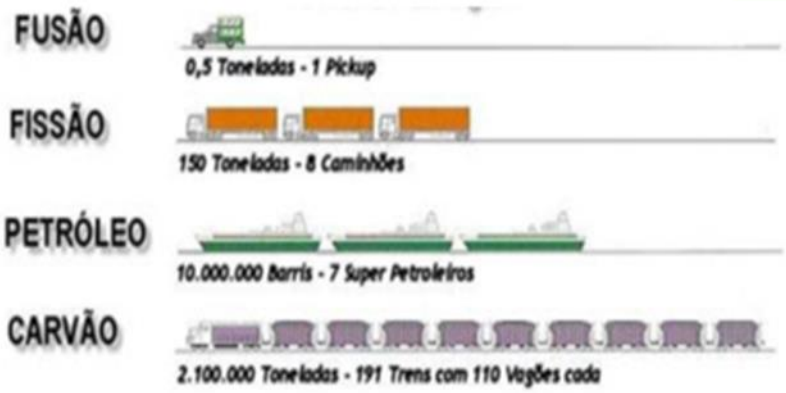
2

Fonte da Imagem: 1 Engenharia é
2 Plano Brasil

CEMIG

FUSÃO NUCLEAR

Consumo de Combustível para gerar 1 GW:



Fonte da Imagem: ITA

CEMIG

FUSÃO NUCLEAR

- Condição para controlar a tendência de cargas iguais se repelirem:

Elevadas Temperatura e Pressão

100 milhões de Kelvin
Deixar a distância entre átomos igual a $1x10^{-15}$ metros
Hidrogênio na forma de plasma

IMPASSE: Manter o plasma nas temperaturas e velocidades adequadas, durante o tempo necessário para que ocorra a fusão e a produção de energia seja maior que o consumo.

CEMIG

Obtenção de energia por FUSÂO NUCLEAR

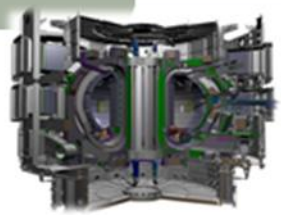
PROCESSO	CARACTERÍSTICA
Confinamento magnético	Feixes de partículas neutras de aceleradores, eletricidade e microondas Para aquecer o hidrogênio, transformá-lo em plasma.
Confinamento inercial	A compressão ocorre por imãs supercondutores. Fusão rápida Laiser ou feixe de íons
Catalização por múon	Temperatura ambiente
Reações nucleares de Baixa energia	Eletrólise Gerou diversos questionamentos

CEMIG

PRINCIPAIS PROJETOS NO MUNDO

ITER (Reator Internacional Termonuclear experimental)

- 21 bilhões de dólares
- 19.000 toneladas
- França
- Confinamento Magnético
- 45 milhões °C
- Laboratório?
- Demonstrar que é possível obter energia em escala comercial



IGNITOR

- Projeto Itália e Rússia
- Construído em Moscou
- Proporções menores que o ITER
- Fonte de Pesquisa

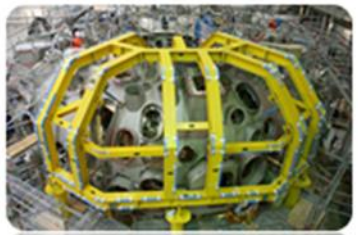
Fonte das imagens: Inovação Tecnológica
AMDA ORG

CEMIG

PRINCIPAIS PROJETOS NO MUNDO

WENDELSTEIN 7-X

- Projeto da Alemanha
- Pesquisa
- Superar obstáculos
- Previsão de funcionamento em 2014



Fonte da Imagem: MAX PLANCK INSTITUT FUR PLASMAPHYSIK

Principais objetivos dos projetos:

- Aprimorar obtenção da energia
- Agregar conhecimento
- Possibilitar desenvolvimento
- Conseguir controlar as condições necessárias

CEMIG

FUSÃO NUCLEAR NO BRASIL

- UNICAMP, que desde 1974 trabalha com pesquisas na área e possui um pequeno reator TOKMAK,

- USP: iniciou as pesquisas em 1977, quando construiu o primeiro Tokamak brasileiro (TBR-1).

- INPE: iniciou com as pesquisas no ano de 1987 e em 2008 contava com um tokamak projetado e construído no Brasil.

- Existem também instituições envolvidas com pesquisas teóricas como UFGRS, ITA, UFMT, UnB, USP, UNESP, entre outros.

- Desde 1987, foram feitas várias tentativas, para que fosse criado o Programa Nacional de Fusão e só em 2006 foi criado a Rede Nacional de fusão, as tentativas para a criação do Programa de Nacional de Fusão ainda continuam.

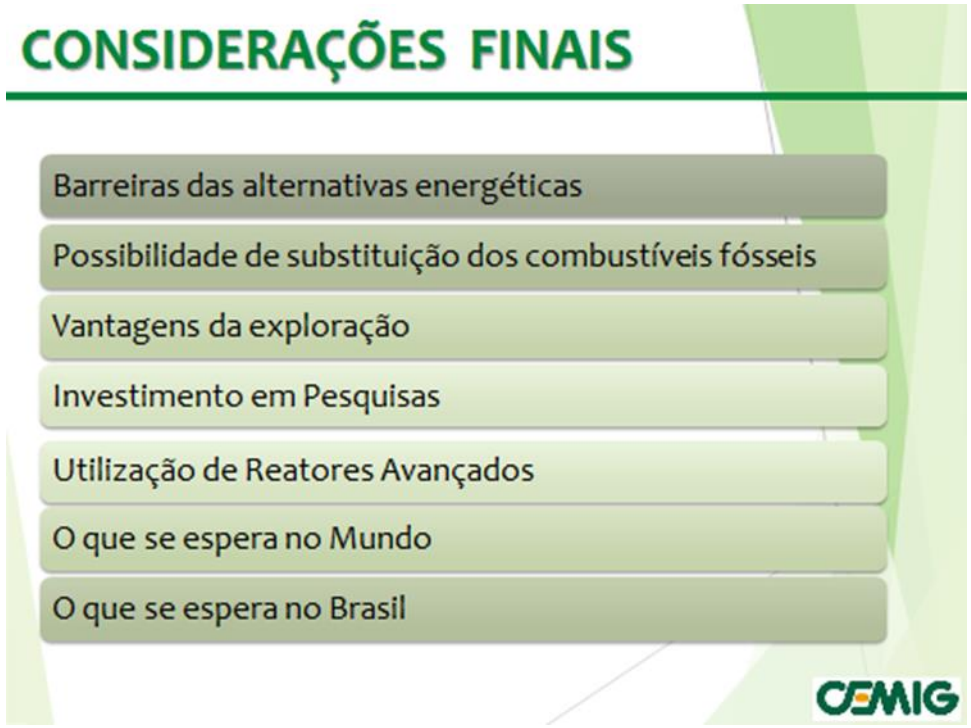
CEMIG

FUSÃO NUCLEAR NO BRASIL

- Os supercondutores utilizados para conduzir elevadíssima corrente elétrica para as bobinas do reator são compostos principalmente de Nióbio e Titânio
- O Brasil possui cerca de 97% da reserva mundial de Nióbio
- A estimativa é que as reservas brasileiras totalizem cerca de dezenas de trilhões de reais

PAÍSES	RESERVAS	PRODUÇÃO		
	2009	2008	2009	(%)
Brasil	4.499.106	144.514	165.723	97
Canadá	46.000	4.380	4.300	3
Outros	21.000	483	400	0,24
TOTAL	4.566.106	149.377	170.423	100

CEMIG


CONSIDERAÇÕES FINAIS
Barreiras das alternativas energéticas
Possibilidade de substituição dos combustíveis fósseis
Vantagens da exploração
Investimento em Pesquisas
Utilização de Reatores Avançados
O que se espera no Mundo
O que se espera no Brasil
CEMIG

BIBLIOGRAFIAS

- Alunos Online. Disponível em: http://www.alunosonline.com.br/quimica/fissao-nuclear.html. Acesso em 13, dez. 2013.
- Cultura mix. Disponível em: http://meioambiente.culturamix.com/natureza/a-china-e-as-energias-renovaveis. Acesso em 15, dez. 2013.
- Darcisio Perondi. Disponível em: http://darcisioperondi.com.br/royalties-do-petroleo-para-a-educacao-e-saude/. Acesso em 12, dez. 2013.
- EletrobrasEletronuclear. Disponível em: http://www.eletronuclear.gov.br/AEmpresa/CentralNuclear.aspx. Acesso em 10, dez. 2013.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007.
- ENERGY.GOV. **Office of Nuclear Energy**. Disponível em <http://energy.gov/node/28891/genIV/documents/gen_iv_roadmap.pdf> acesso em 09, dez. 2013, 13:29:35.
- Engenharia é. Disponível em: http://www.engenhariae.com.br/colunas/fusao-nuclear-energia-limpa-e-quase-inesgotavel/. Acesso em 09, dez. 2013.

BIBLIOGRAFIAS

- FEM UNICAMP. Disponível em: http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/nuclear/nuclear.htm. Acesso em 16, dez. 2013.
- Fred Moura. Disponível em: http://proffred.wordpress.com/2011/05/04/radioatividade/. Acesso em 10, dez. 2013.
- FUSÃO NUCLEAR: **Sonho da Energia das estrelas continua brilhando**. Disponível em <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=fusao-nuclear&id=010815110823> Acesso em 22, out. 2013.
- ITA. Notícias: **uma forma alternativa e eficiente de geração de energia elétrica**. 2003. Disponível em <http://www.ita.br/online/2003/noticias03/tokamak/tokamak.htm> Acesso 29, nov. 2013.
- ITER. Disponível em < http://www.iter.org> Acesso em 22, out. 2013, 16:35:17.
- MAX PLANCK INSTITUT FUR PLASMAPHYSIK – **IPP Projects: Wendelstein 7-x**. Disponível em <http://www.ipp.mpg.de/ippcms/eng/pr/forschung/w7x/> Acesso em 22, out. 2013.
- Notícia a jato. Disponível em: http://noticiajato.com.br/energia-solar-vira-fonte-de-renda-no-sertao-baiano/. Acesso em 10, dez. 2013.

BIBLIOGRAFIAS

- PCTN. CARDOSO, E. M. et al. **Energia Nuclear – Apostila Educativa**. Comissão Nacional de Energia Nuclear – Rio de Janeiro – RJ. Disponível em < http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/energia.pdf>. Acesso em 14, out. 2013.
- Plano Brasil. Disponível em: http://www.planobrazil.com/cientistas-dos-eua-avancam-para-a-fusao-nuclear-controlada/. Acesso em 12, dez. 2013.
- Portal da Radiologia. FERREIRA, Abrahão. **A Energia Nuclear pelo Mundo**. Disponível em < http://abrahao-radiologia.blogspot.com.br/2012/07/energia-nuclear-pelo-mundo.html> Acesso em 12, nov. 2013, 14:23:10.
- Revista Exame. ROTHMAN, Paula. **Angra pode virar uma nova Fukushima ou Chernobyl?**. Disponível em <http://exame.abril.com.br/ciencia/noticias/angra-pode-virar-uma-nova-fukushima-ou-chernobyl?page=2 > Acesso em 17, out. 2013.
- Tokamak. Se. Disponível em: http://www.tokamak.se/. Acesso em 13, dez. 2013.

Smart Grid e Geração Distribuída

Mônica Oliveira de Araújo Mabub

SUMÁRIO

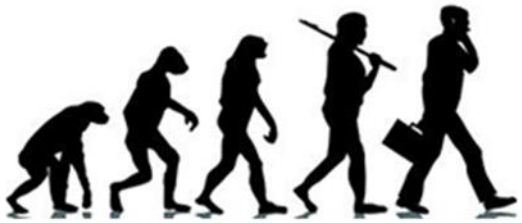
- Histórico
- Conceito Técnico
  - Impactos gerados
  - Ruptura tecnológica
- Situação Atual
- Aplicações da tecnologia
  - Projetos recentes
- Entraves ao desenvolvimento
- Conclusão

Bibliografias

CEMIG

HISTÓRICO

- Evolução das necessidades energéticas do homem



- Alimentação
- Aquecimento
- Iluminação
- Revolução Industrial
- Produção de bens
- Transporte

Fonte da Imagem: Portal da Educação

CEMIG

HISTÓRICO

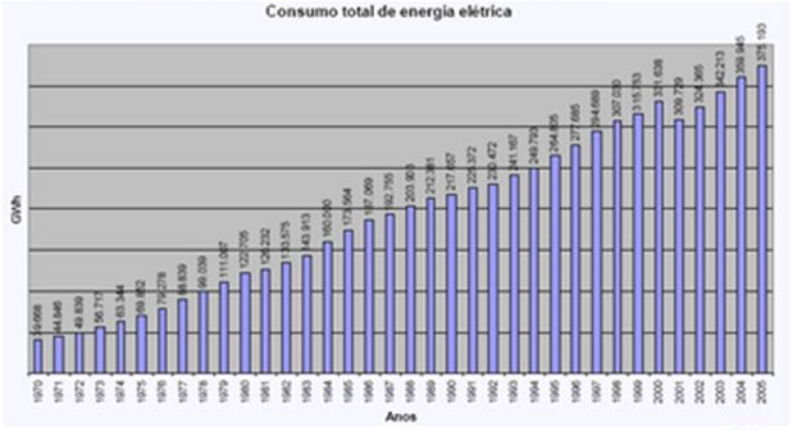
- Desenvolvimento das bases do conceito de energia elétrica
  - Thomas Edison inventa a primeira lâmpada elétrica em 1879.
  - Responsável pela construção das primeiras usinas geradoras de energia em corrente contínua (atendimento de sistemas de iluminação).
  - Em 1888 acontece a primeira transmissão de energia elétrica em corrente alternada (Nikola Tesla): marco histórico da transmissão de energia a longas distâncias e sua utilização para fins domésticos.

Fonte da Imagem: Science Museum e Macauhub

CEMIG

HISTÓRICO

- O desenvolvimento de novas tecnologias que aperfeiçoassem os mecanismos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica não acompanhou o crescimento exponencial do consumo de energia elétrica.

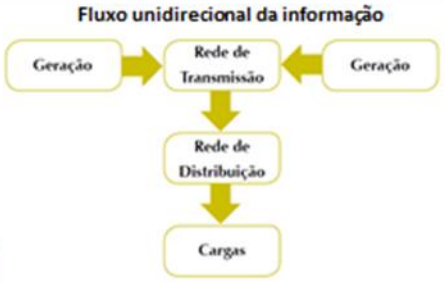


Fonte da Imagem: Balanço Energético Nacional

CONCEITO TÉCNICO

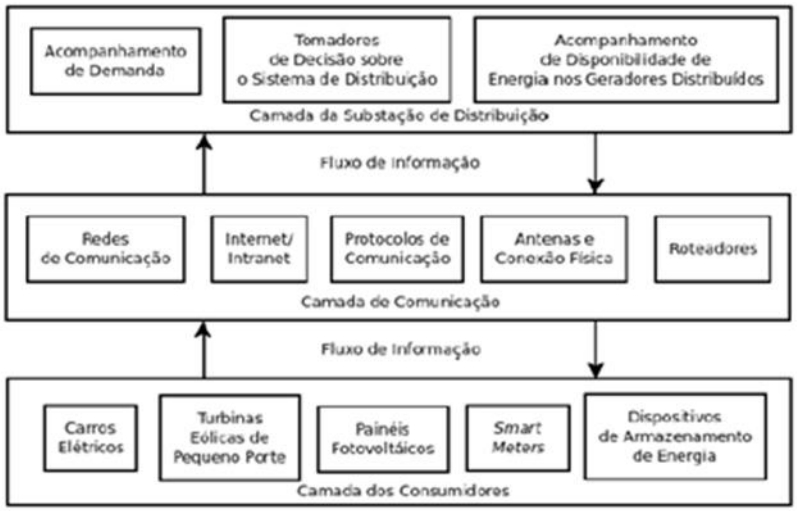
SMART GRID

É considerado uma modernização do sistema de fornecimento de eletricidade, que então monitora, protege e otimiza automaticamente o funcionamento de todos os sistemas interligados.



Fonte da Imagem: Revista O setor elétrico

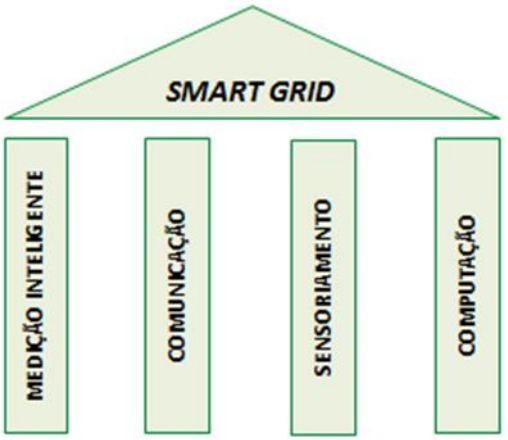
CONCEITO TÉCNICO



Fonte da Imagem: Aplicação de Sistemas Multiagentes para Gerenciamento de Sistemas de Distribuição tipo *Smart Grids* – Dissertação (2012) USP

CONCEITO TÉCNICO

- A *Smart Grid* se apoia em pilares tecnológicos que sustentam a sua viabilidade e aplicação em larga escala.



CONCEITO TÉCNICO

- Medição Inteligente (*Smart Metering*) composta pelas seguintes características:
  - Medidores elétricos com capacidade de armazenamento, processamento e comunicação de dados;
  - Medidor inteligente que permite uma bidirecionalidade;
  - *Software* que permite analisar as informações de forma segura e inteligente.

Fonte da Imagem: Medidor Inteligente - Site Toshiba

CONCEITO TÉCNICO

- Comunicação
  - Os medidores inteligentes possibilitam uma nova maneira de se comunicarem com os outros equipamentos instalados na rede. Configurar-se-á a comunicação bidirecional, provendo as concessionárias de informações atualizadas para prevenção ou mitigação de problemas relacionados ao fornecimento de energia elétrica.

Fonte da Imagem: http://www.ge.com/energy

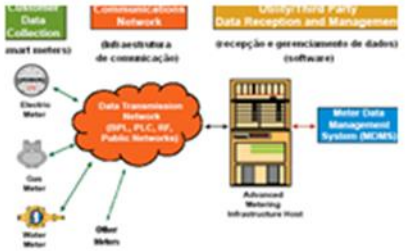
CONCEITO TÉCNICO

- Sensoriamento
  - O sensoriamento ao longo de todo o sistema de distribuição de energia é imprescindível para o funcionamento pleno das redes inteligentes
  - Os sensores serão os responsáveis por enviar corretamente os dados da rede elétrica aos sistemas de controle das concessionárias, dotando-as das informações necessárias para contornar possíveis problemas

Fonte da Imagem: http://www.pmoengenharia.com.br

CONCEITO TÉCNICO

- Computação
  - Necessária em meio ao desenvolvimento das redes inteligentes devido ao aumento efetivo de dados recebidos por todos os equipamentos do sistema elétrico.
  - A disponibilidade de tantos dados na rede pode tornar a leitura confusa e piorar a situação atual da rede. Neste sentido os avanços computacionais se fazem necessários ao sistema, operando como um filtro de dados.

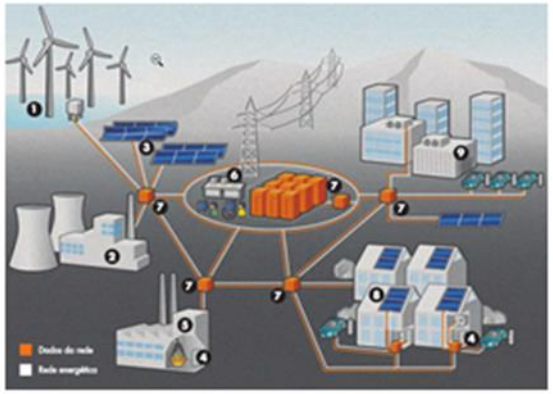


Fonte da Imagem: http://smartgridnews.com.br/

CONCEITO TÉCNICO

GERAÇÃO DISTRIBUIDA

É a geração de energia de forma descentralizada, no próprio local ou próxima do uso da mesma, economizando os custos de transmissão e distribuição e proporcionando uma solução energética e economicamente otimizada para cada caso.

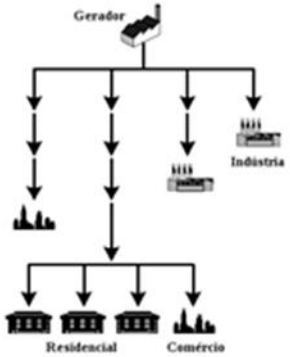


Fonte da Imagem: Revista Smart Energy

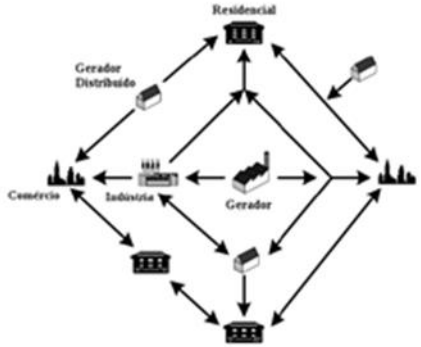
CEMIG

CONCEITO TÉCNICO

GERAÇÃO CENTRALIZADA



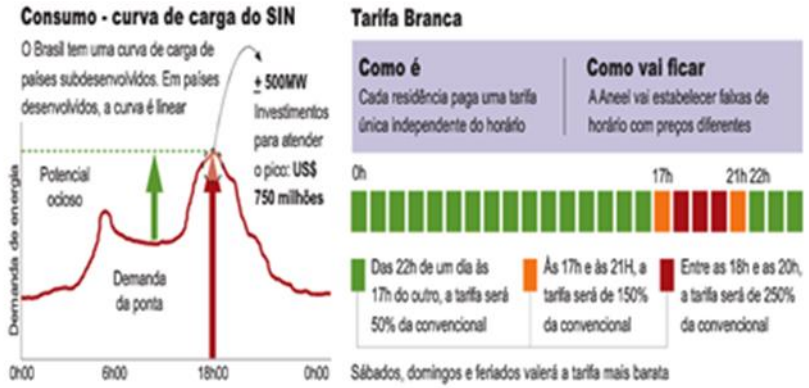
GERAÇÃO DESCENTRALIZADA



Fonte da Imagem: Aplicação de Sistemas Multiagentes para Gerenciamento de Sistemas de Distribuição tipo *Smart Grids* – Dissertação (2012) USP

IMPACTOS GERADOS

- Nova forma de tarifação da energia (medidores inteligentes)



Fonte da Imagem: Revista Smart Energy

IMPACTOS GERADOS

- Munir o consumidor de maiores informações para o gerenciamento e controle do uso da energia.

Fonte da Imagem: Vídeo Ampla Energia

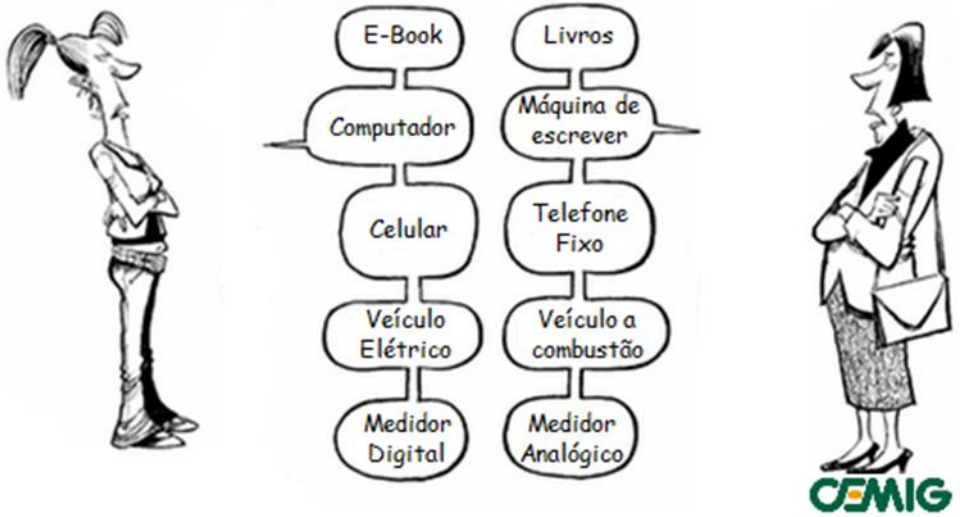
IMPACTOS GERADOS

- Portanto, os impactos gerados por essa tecnologia podem ser resumidos em:

CEMIG

RUPTURA TECNOLÓGICA

- O conceito de *Smart Grid* surge como uma promessa de ruptura tecnológica, trazendo inovação e eficiência ao sistema de energia.



RUPTURA TECNOLÓGICA

- Uma ruptura tecnológica sinaliza uma forte mudança na matriz energética. Neste sentido, no setor elétrico a disseminação de veículos elétricos e híbridos se configurá como uma potencial fonte de ruptura tecnológica.

- Embora as pesquisas se avancem nos assuntos relacionados às redes inteligentes, se não houver uma mobilização pública a fim de consolidar uma política clara que assinale os caminhos para financiamento e regulamentação dessa nova tecnologia, a *Smart Grid* continuará restrito às pesquisas científicas no meio acadêmico, seminários, revistas e etc.

Fonte da Imagem: Jornal Tudo em Dia

SITUAÇÃO ATUAL

SMART GRID NO MUNDO

Desde 2009, os EUA destinaram cerca de U$ 4,5 bilhões para modernização das redes elétricas do *American Recovery Reinvestiment Act* dos quais, mais de U$ 600 milhões são para provas de demonstração. Os estados que lideram as inicitativas são: Texas e Califórnia.

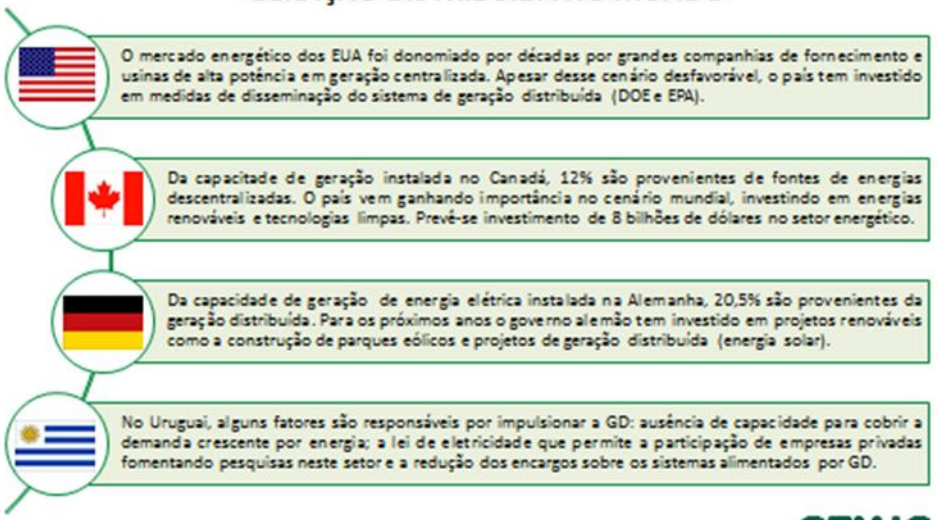
O programa das companhias elétricas japonesas prevê o desenvolvimento de *Smart Grids* que contemplem a geração de energia solar, até 2020, cujos investimentos governamentais superam U$ 100 milhões. Outras iniciativas são voltadas para o desenvolvimento de medidores inteligentes.

Desde 2008 , o governo espanhol estabeleceu a substituição dos medidores convencionais por medidores inteligentes, sem qualquer custo para o consumidor final. As distribuidoras Endesa e Iberdrola prevêm juntas a implantação de mais de 23 milhões de medidores até 2013.

Desde 2009, o governo australiano destinou U$100 milhões de dólares australianos em iniciativas denominadas "*Smart Grid, Smart City*", voltada para pilotos de demonstração em escala comercial.

SITUAÇÃO ATUAL

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO MUNDO



O mercado energético dos EUA foi donomiado por décadas por grandes companhias de fornecimento e usinas de alta potência em geração centralizada. Apesar desse cenário desfavorável, o país tem investido em medidas de disseminação do sistema de geração distribuída (DOE e EPA).

Da capacitade de geração instalada no Canadá, 12% são provenientes de fontes de energias descentralizadas. O país vem ganhando importância no cenário mundial, investindo em energias renováveis e tecnologias limpas. Prevé-se investimento de 8 bilhões de dólares no setor energético.

Da capacidade de geração de energia elétrica instalada na Alemanha, 20,5% são provenientes da geração distribuída. Para os próximos anos o governo alemão tem investido em projetos renováveis como a construção de parques eólicos e projetos de geração distribuída (energia solar).

No Uruguai, alguns fatores são responsáveis por impulsionar a GD: ausência de capacidade para cobrir a demanda crescente por energia; a lei de eletricidade que permite a participação de empresas privadas fomentando pesquisas neste setor e a redução dos encargos sobre os sistemas alimentados por GD.

CEMIG

SITUAÇÃO ATUAL

SMART GRID NO BRASIL

- O sistema elétrico brasileiro é diferenciado dos demais países por apresentar sua matriz energética baseada principalmente em fontes renováveis de energia de grande porte.

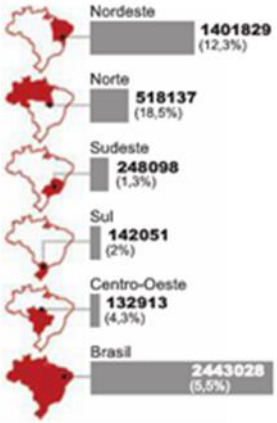
- Porém no que diz respeito à distribuição de energia, o Brasil enfrenta um cenário de reduzida eficiência, e é neste contexto que o conceito de redes inteligentes aparece para suprir as necessidades do aumento crescente por energia.

SITUAÇÃO ATUAL

SMART GRID NO BRASIL

- O Brasil apresenta um índice de atendimento da rede elétrica de 94,53% num total de 42.277.826 domicílios iluminados.

- Isso significa que aproximadamente 2,44 milhões de casas estão sem luz, valor este que se concentra nas regiões norte e nordeste do país.



Fonte da Imagem: Revista Smart Energy

SITUAÇÃO ATUAL

SMART GRID NO BRASIL

- A ANEEL tomou medidas que estimulassem o desenvolvimento de projetos associados à eficiência energética, propondo que um percentual mínimo de 0,50% da receita bruta das concessionárias fossem direcionados a tais projetos, sendo o conceito de *Smart Grid* um dos beneficiários dessa medida.

- O novo cenário energético ainda não está completamente estruturado com relação as regulamentações e leis pertinentes ao assunto. Apesar disso, as concessionárias já deram os primeiros passos em direção ao modelo de cidades inteligentes do futuro.

SITUAÇÃO ATUAL

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL

- A GD é a ferramenta associada às tradicionais alternativas de instalação e integração energética que será capaz de dar suporte à rede elétrica existente.

- A tecnologia para a GD se comparada com a centralizada é mais vantajosa por apresentar menor escala, não precisar de investimentos em linhas de transmissão e distribuição e possuir um curto prazo para ser implantada.

- Medidas de Incentivo:
  - Resolução ANEEL 21 de 2000 estabeleceu regras de qualificação de cogeradores baseadas em seu desempenho energético e potencial de economia.
  - Decreto da Lei n°10.438 de abril de 2002 que tratou da criação PROINFA.

CEMIG

APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA

- Dentro do contexto de *Smart Grid* e Geração Distribuída, novas soluções práticas surgem, como exemplo:

• Medir, coletar e prover rápida atuação no combate a falhas	• Grande potencial para fontes renováveis (painéis solares e turbinas eólicas)	• Fluxo bidirecional da informação, alimentada em tempo real	• Benefícios à rede nos horários de pico (abastecedores do sistema)	• Reúne recursos que operem em uma rede única e autônoma (sistema paralelo)
COMUNICAÇÃO INTEGRADA **S**	FONTES RENOVÁVEIS **M**	SENSORIAMENTO DA REDE **A**	VEÍCULOS ELÉTRICOS **R**	MICROGRIDS **T**

Fonte da Imagem: IV Fórum de Inovação e Tecnologia

CEMIG

PRINCIPAIS PROJETOS NO BRASIL

Projetos Piloto no Brasil

CEMIG

PRINCIPAIS PROJETOS NO BRASIL

MINAS GERAIS

- Programa Cidade do Futuro é um projeto P&D de redes inteligentes situado em Sete Lagoas/MG.
- Serão Instalados 8 mil medidores inteligentes com previsão para ser concluído em 2014.
- Total de investimentos em torno de R$ 50 milhões, financiados pelos programas de Eficiência Energética da Cemig, ANEEL e pelo Governo dos EUA.
- A cidade ainda conta com um novo projeto para instalação da maior usina fotovoltaica do país.

PRINCIPAIS PROJETOS NO BRASIL

RIO DE JANEIRO

ampla

- Projeto Cidade Inteligente Búzios teve inicio em 2011 com apoio da Ampla, que vem investindo em projetos de *Smart Cities*.
- Investimento de R$ 40 milhões a ser finalizado em meados de 2014.
- A cidade inteligente traz diversos benefícios aos consumidores de energia elétrica proporcionando maior controle de consumo para os cidadãos, além da tarifação diferenciada.
- Consumidores poderão gerar e vender energia.

CEMIG

PRINCIPAIS PROJETOS NO BRASIL

AMAZONAS

Eletrobras
Amazonas Energia

- O Projeto Parintins é desenvolvido desde 2010 e conta com a tecnologia do sistema *Smart Grid* que prevê a automação da rede de distribuição de energia.
- A cidade já instalou cerca de 3500 medidores inteligentes.
- A Eletrobras investiu R$ 21 milhões para implantação de todos os medidores bem com a automação dos alimentadores.
- Iniciativa futura pela aquisição de 30 painéis solares fotovoltaicos para ser instalado nas residências.

CEMIG

PRINCIPAIS PROJETOS NO BRASIL

SÃO PAULO

edp bandeirante

- Em 2011 foi implantado o projeto Inovocity na cidade de Aparecida/SP.
- Atualmente foram instalados 3300 medidores inteligentes dos 12000 a serem instalados por todo o município. Além da troca da iluminação tradicional por lâmpadas de LED.
- A EDP Bandeirantes investiu R$ 10 milhões no projeto piloto. A distribuidora doou cinco postos de carregamento para veículos elétricos, além de bicicletas elétricas com finalidade de incentivas a mobilidade elétrica.

CEMIG

PRINCIPAIS PROJETOS NO BRASIL

CEARÁ

coelce
Companhia Energética do Ceará

- A cidade de Aquiraz/CE foi escolhida como modelo para uma cidade inteligente.
- Município recebeu um total de 100 medidores e foi escolhido por apresentar níveis de consumo energético local, existência de uma subestação automatizada e uma infraestrutura de rede favorável a implantação.

CEMIG

PRINCIPAIS PROJETOS NO BRASIL

PARANÁ

COPEL
Pura Energia

- A cidade Fazenda Rio Grande /PR é sede do projeto piloto para implantação de redes inteligentes.
- O projeto conta com um investimento de R$ 350 milhões no qual inclui também a construção de 10 subestações.
- A Copel pretende atender cerca de 100 mil consumidores com automação do sistema elétrico inteligente, além de permitir que novas fontes de energias renováveis possam ser ligadas à rede de distribuição.

CEMIG

PRINCIPAIS PROJETOS NO BRASIL

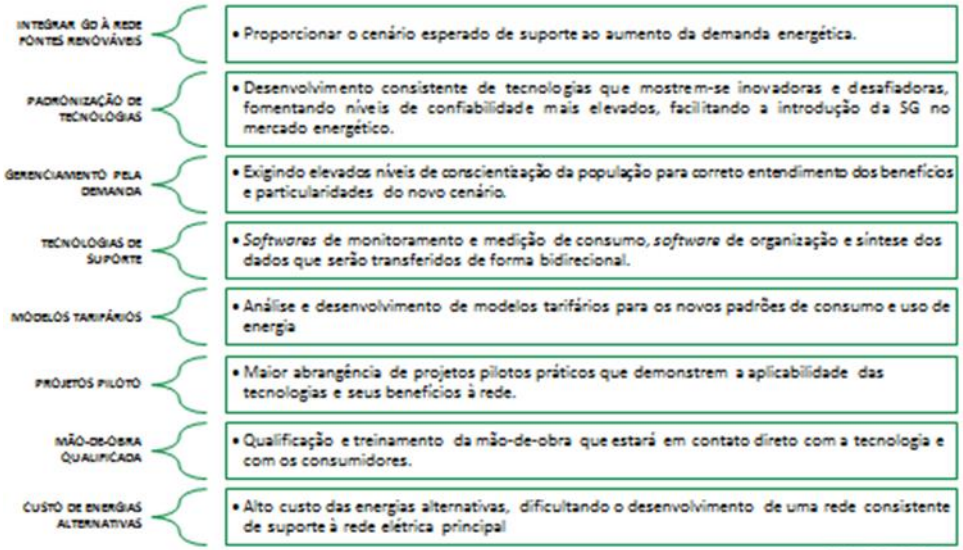
PERNAMBUCO

celpe
Grupo Neoenergia

- O projeto piloto situado no Arquipélago de Fernando de Noronha conta com a implementação de medição avançada, telecomunicações, automação da rede e tecnologia de informação.
- A Celpe irá investir mais de R$ 16 milhões para a realização do projeto piloto *Smart Grid* durante os 3 anos de implantação do mesmo.
- Entre os benefícios da rede inteligente, estão a identificação e correção mais rápida de falhas no sistema de rede.

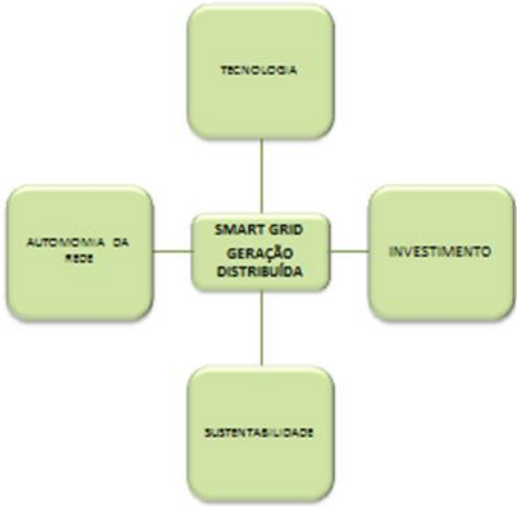
CEMIG

ENTRAVES AO DESENVOLVIMENTO



CONCLUSÃO

- O desenvolvimento da *Smart Grid* abre portas para uma série de inovações tecnológicas que irão impactar positivamente a realidade elétrica do país.
- As redes inteligentes podem prover níveis de autonomia capazes de auto gerenciar a rede elétrica, munindo-a de configurações capazes de minimizar as perdas e maximizar a proteção a ela oferecida.
- O governo tem como desafio propor cenários de investimentos em pesquisa de eficiência energética, que possam beneficiar o desenvolvimento das pesquisas que irão deslanchar a utilização do conceito de rede inteligente.



OBRIGADA!

CEMIG

BIBLIOGRAFIAS

- WALTER, Osvaldo Luiz. História da eletricidade. Mogi Mirim, 2010. Disponível em:<http://www.univastedu.br/~edmar.nascimento/iee/1HistoriaEletricidade.pdf>. Acesso em 20 de fevereiro de 2013.
- Minicurso para o SBrT 2012: Smart Grid e IEC 61850: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico. Disponível em: <http://sbrt.org.br/sbrt2012/publicacoes/99346_1.pdf>. Acesso em 5 de março de 2013.
- Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes Ministério de Minas e Energia- Relatório Smart Grid. Disponível em:< http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/acoes/Energia/Relatorio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf >. Acesso em 5 de março de 2013.
- SEVERINO, Mauro Moura; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves. Revista Brasileira de Energia vol.14 nº 1. Geração distribuída: Discussão conceitual e nova definição. sbpe – Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 2008.
- Revista Smart Energy nº 15. Smart Grid: Revolução que ainda está por vir. [online]. Editora: Bolina, Dezembro/2012. Disponível em: < http://www.smartenergyonline.com.br/edition.php?e=21>. Acesso em 5 de março de 2013.
- ANEEL, Tarifa branca ao consumidor de baixa tensão valerá com novo medidor. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?identidade=4921&id_area=90 >. Acesso em: 5 de março de 2013

BIBLIOGRAFIAS

- RODRÍGUEZ, Carlos Roberto Cervantes. Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. Dissertação de Mestrado, Campinas/SP. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. 135p. 2002.
- Revista Smart Energy nº 09. Smart Grid: A revolução começou. [online]. Editora: Bolina, Dezembro/2011. Disponível em: < http://www.smartenergyonline.com.br/edition.php?e=21>. Acesso em 5 de março de 2013.
- EIA, U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2011. DOE/EIA- 0484 (2011). Setembro 2011. Disponível em: < http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2011).pdf>. Acesso em: 5 de março de 2013.
- GIGLIOLI, Enrico; PANZACCHI, Cosma; SENNI, Leonardo. How Europe is Approaching the Smart Grid – European Unity Progress. Milano: Mckinsey & Company, Italy, 2010.
- EcoDebate – Cidadania &Meio Ambiente. Governo alemão vai substituir energia nuclear pela solar, éolica e biomassa. Disponível em: < http://www.ecodebate.com.br/2011/11/04/governo-alemao-vai-substituir-energia-nuclear-pela-solar-e olica-e-biomassa/>. Acesso em: 5 de março de 2013.
- Know your power. Electricity generation in Canada by fuel type, 2011. Disponível em: < http://knowyourpower.ca/data-world/>. Acesso em: 5 de março de 2013.

BIBLIOGRAFIAS

- IER Institute for Energy Research. What Can the U.S. Learn from China's Energy Policy?. Disponível em: < http://www.instituteforenergyresearch.org/2009/11/20/what-can-the-u-s-learn-from-chinas-energy-policy/>. Acesso em: 5 de março de 2013.

- Revista Smart Energy n° 14. Terceiro ciclo gera conflito entre ANEEL e distribuidoras. [online]. Editora: Bolina, outubro/2012. Disponível em: < http://www.smartenergyonline.com.br/edition.php?e=21>. Acesso em 5 de março de 2013.

- Revista Smart Energy n° 14. Terceiro ciclo gera conflito entre ANEEL e distribuidoras. [online]. Editora: Bolina, outubro/2012. Disponível em: < http://www.smartenergyonline.com.br/edition.php?e=21>. Acesso em 5 de março de 2013.

- APOSTILA GDEE. Geração Distribuída de Energia Eléctrica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores. p.75. Disponível em: < http://ge.deec.uc.pt/ensino/gee/trabalhos%20pesquisa/2004_2005/geracao%20distribuida/GEE_Relatorio.pdf>. Acesso em: 5 de março de 2013.

- Revista O setor elétrico cap.VII. Microrredes inteligentes: um novo modelo de negócio para a distribuição de energia elétrica. [online]. Editora: Attude.Editorial, dezembro/2011. Disponível em: < http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed71_fasc_smart_grids_cap7.pdf >. Acesso em 5 de março de 2013.

BIBLIOGRAFIAS

- Agênciaminas, Projeto Cidades do Futuro, da Cemig, quer transformar consumidores em fornecedores de energia. Disponível em: <http://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticias/projeto-cidades-do-futuro-da-cemig-quer-transformar-consumidores-em-fornecedores-de-energia/>. Acesso em 21 de fevereiro de 2013.

- O DIA, Projeto faz de Búzios a primeira Cidade Inteligente. Disponível em: < http://odia.ig.com.br/portal/ciencia&saude/vida&meioambiente/projeto-faz-de-b%C3%BAzios-a-primeira-cidade-inteligente-1.521561 />. Acesso em 21 de fevereiro de 2013.

- Smart Grid News, InovCity: Lançamento de Projetos de Inovação Social e Mobilidade Elétrica Disponível em: <http://smartgridnews.com.br/inovcity-lancamento-de-projetos-de-inovacao-social-e-mobilidade-eletrica/>.Acesso em 21 de fevereiro de 2013.

- Negócios. Diário do Nordeste. Redes elétricas inteligentes chegam ao Estado em 2013. Disponível em: < http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=1028539>.Acesso em 21 de fevereiro de 2013.

- Ambiente Energia. Meio Ambiente, sustentabilidade e inovação. Smart Grid: piloto em arquipélago. Disponível em: < http://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2012/03/smart-grid-piloto-em-arquipelago/17978>. Acesso em 21 de fevereiro de 2013.

QUÍMICA VERDE

Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG
Gerência de Alternativas Energéticas – TE/AE

Março de 2013

TÓPICOS A SEREM ABORDADOS

1 – Introdução

2 – Histórico e Evolução

3 – A química Verde e seus 12 princípios

4 – Áreas de atuação e processos

5 - Conclusões

INTRODUÇÃO

"É triste pensar que a natureza fala e que o gênero humano não a ouve."

Victor Hugo

- ✓ Em 1989, durante a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, criado pela Organização das Nações Unidas – ONU, surgiu o termo desenvolvimento sustentável.
- ✓ O surgimento da NBR ISO 14.001, certificação relacionada ao estabelecimento e operação de um sistema de gestão ambiental.
- ✓ A química ambiental vendo sendo utilizada desde 1990.

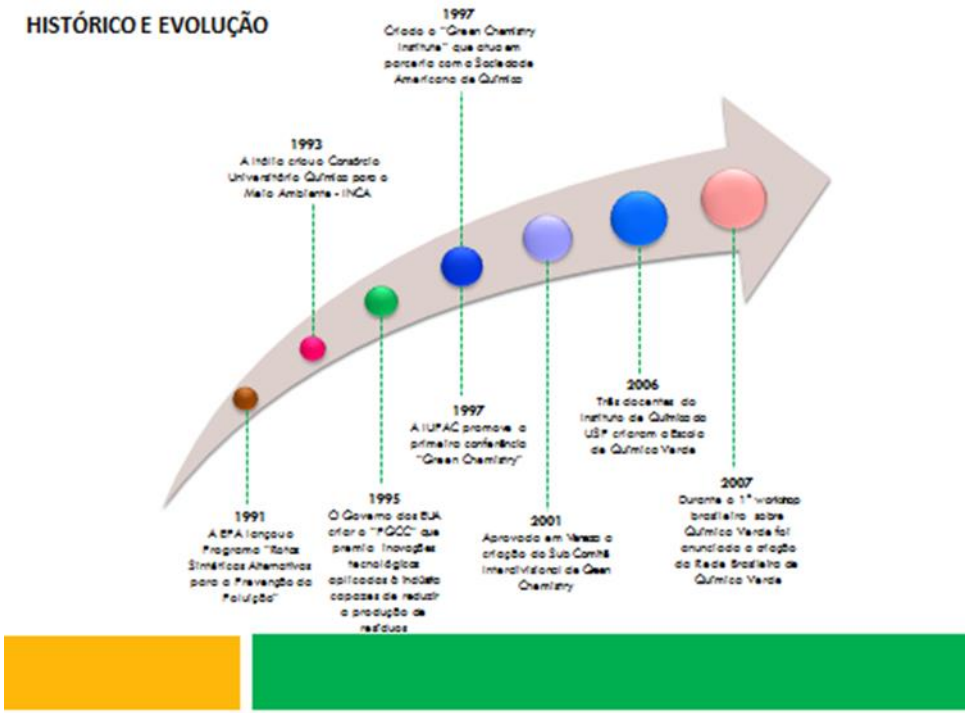
Fonte: http://www.comunitario.com.br

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

"Atender às necessidades da atual geração, sem comprometer a capacidade das futuras gerações em prover suas próprias demandas."

- ✓ É o desenvolvimento que não esgota os recursos naturais;
- ✓ Neste modelo há conciliação entre o crescimento econômico e a preservação a natureza;
- ✓ Implica mudanças nos padrões de consumo. Está relacionado à qualidade, ao invés da quantidade, havendo a redução de matérias-primas e dos produtos gerados;
- ✓ Para ser alcançado, o desenvolvimento sustentável depende de planejamento e do reconhecimento de que os recursos naturais são finitos.

HISTÓRICO E EVOLUÇÃO



A QUÍMICA VERDE E SEUS 12 PRINCÍPIOS

O que é a Química Verde?

É o ramo da química que prevê a utilização de técnicas e metodologias, que aplicadas aos processos químicos,reduzam ou eliminem o uso de solventes e reagentes. Espera-se também, que haja uma diminuição, significativa, na geração de subprodutos tóxicos, nocivos à saúde humana e ao meio ambiente.

Fonte: http://www.quantavol.com

A QUÍMICA VERDE E SEUS 12 PRINCÍPIOS

✓ Considerados "pais da química verde" Paul Anastas e Jonh Warner formularam, a partir da contribuição de diversos autores, os 12 princípios da química verde, buscando obter processos ambientalmente corretos e menos prejudiciais.

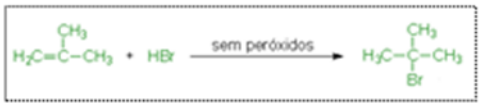
PREVENÇÃO

- ✓ A formação de resíduos deve ser evitada, visto que é mais oneroso e prejudicial ao meio ambiente tratar os resíduos depois de gerados;
- ✓ Para prevenir a poluição é necessário adotar metodologias capazes de reduzir ou eliminar a à geração de produtos indesejados;
- ✓ A modificação de processos e equipamentos, a reformulação e replanejamento de produtos, substituição e otimização de matérias-primas, energia, água e outros recursos naturais também são eficazes.

ECONOMIA DE ÁTOMOS

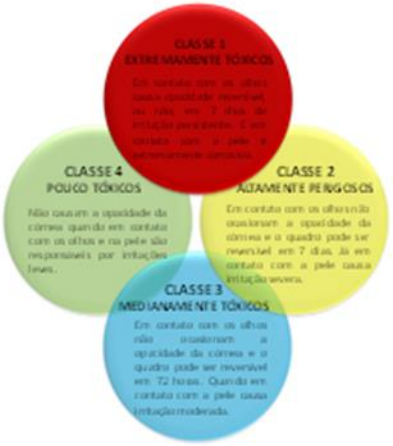
- ✓ Deve-se incorporar o maior número possível de átomos dos reagentes no produto final;
- ✓ A reação ideal é aquela em que toda a massa dos reagentes é incorporada nos produtos. Tem-se como vantagem deste processo a menor geração de resíduos e utilização mais efetiva de matérias-primas.
- ✓ As reações químicas de adição, por exemplo, levam, geralmente, à incorporação de todos os átomos dos reagentes nos produtos finais, sendo preferíveis àquelas de eliminação e substituição.

Reação de adição do brometo de hidrogênio ao metilpropeno



SÍNTESE SEGURA

- ✓ As reações devem ocorrer com a utilização de compostos que apresentem pouco ou nenhum risco à saúde humana e ao meio ambiente, para tanto, torna-se necessário substituir produtos tóxicos por outros menos nocivos;
- ✓ Tóxico é todo o produto que contém uma substância química capaz de causar danos a um sistema biológico, alterando uma função fisiológica e/ou levando o sistema à falência e morte;
- ✓ A legislação brasileira divide os agrotóxicos, produtos técnicos e produtos formulados em quatro classes toxicológicas, delimitadas por cor, segundo o grau de periculosidade associada.



DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SEGUROS

- ✓ O desenvolvimento e uso de produtos que não causem danos ao meio ambiente deve ser priorizado;
- ✓ Este princípio é complementar ao anterior, já que determina o desenvolvimento de novos produtos levando em conta a toxicidade dos reagentes envolvidos no processo e os possíveis danos ao ambiente provocados pelos produtos gerados;
- ✓ A substituição de combustíveis fósseis, como a gasolina, por etanol, é uma forma de reduzir a quantidade de gases estufa lançados na atmosfera

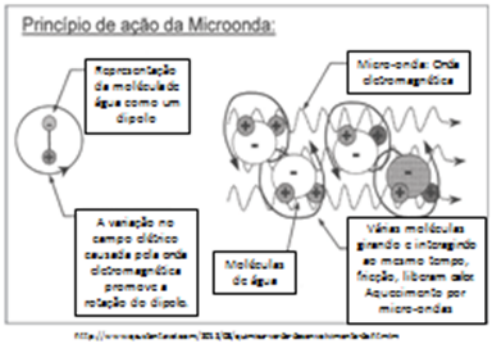
USO DE SOLVENTES AUXILIARES SEGUROS

- ✓ O uso de substâncias auxiliares como solventes, agentes de purificação e secantes deve ser evitada.
- ✓ Quando da necessidade de utilizá-los prefira substâncias inócuas ou facilmente reutilizadas.
- ✓ A não recuperação de solventes acarreta, geralmente, em um maior custo, em termos de tratamento de efluentes, além de ser um desperdício de um material que poderia ser reaproveitado.

BUSCA PELA EFICIÊNCIA DE ENERGIA

- ✓ Processos químicos a temperatura e a pressão ambientes precisam ser desenvolvidos, a fim de minimizar o consumo de energia, gerando ganhos econômicos e ambientais;
- ✓ Energia por micro-ondas: vêm sendo empregadas para dar agilidade às transformações químicas e também para promover reações em águas superaquecidas.
- ✓ Energia por ultrassom: tem importante efeito sobre reações em meio aquoso e bifásico, ocasionando aumento do rendimento e das velocidades das reações.

Representação da molécula de água como um dipolo.

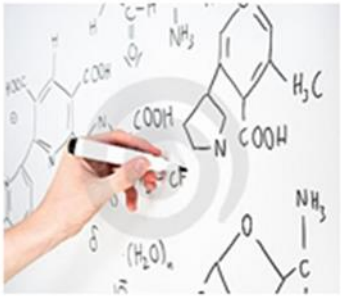


USO DE FONTES RENOVÁVEIS DE MATÉRIA-PRIMA

- ✓ Devem ser utilizadas, sempre que possível, as substancias derivadas de plantas e de outras fontes biológicas renováveis ou recicláveis, como a biomassa.
- ✓ Entre as principais vantagens da biomassa estão : baixo custo de operação; facilidade de armazenamento e transporte; proporciona o reaproveitamento dos resíduos; alta eficiência de energia; é uma fonte renovável e limpa e emite menos poluentes.

EVITAR A FORMAÇÃO DE DERIVADOS

- ✓ Processos que envolvam a utilização de reagentes intermediários com grupos bloqueadores, de proteção e desproteção ou qualquer modificação temporária da molécula devem ser evitados.
- ✓ Estes processos requerem uma quantidade muito grande de reagentes adicionais o que ocasiona, consequentemente, a maior geração de subprodutos e derivados.

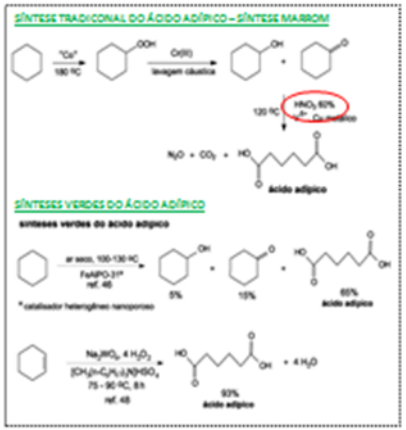


CATÁLISE

- ✓ A utilização de catalisadores, em substituição aos agentes estequiométricos, reduz, consideravelmente, a quantidade de reagentes e permite o uso de matérias-primas menos danosas ao meio ambiente.

- ✓ O ácido adípico tem duas rotas de preparação verdes. Ele é utilizado na fabricação do nylon 6-6, presente em fibras de carpete, tapeçaria, reforço de pneus e também em partes automotivas.

- ✓ K. Barry Sharpless, Ryoji Noyori e Willian S. Knowles, agraciados com o Prêmio Nobel de Química, em 2001, eliminaram a utilização de ácido nítrico, HNO_3, na produção do ácido adípico, tornando o processo mais eficiente e economicamente mais atraente.



DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DEGRADÁVEIS

- ✓ É necessário projetar os produtos químicos para que, ao final da sua vida útil, sejam fragmentados em produtos não prejudiciais ao meio ambiente;
- ✓ A embalagem "eco" da marca de águas Crystal, da Coca-Cola, é um exemplo de produto ecologicamente correto. As embalagens da marca têm até 30% menos de plástico, facilitando a sua decomposição na natureza.
- ✓ Além disso, as garrafas de 500 ml se utilizam da tecnologia "PlantBottle", a partir da cana de açúcar, podendo ser torcida após o consumo, diminuindo, em 37% o seu volume e facilitando o processo de coleta e reciclagem,

ANÁLISE EM TEMPO REAL PARA PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO

- ✓ O monitoramento dos processos químicos, em tempo real, é de suma importância para detectar a presença de substâncias tóxicas, antes mesmo da sua geração, tornando-se necessário, desta-forma, criar mecanismos que possibilitem essa identificação.

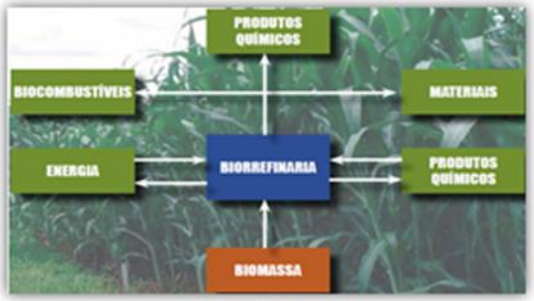
QUÍMICA INTRINSECAMENTE SEGURA PARA PREVENÇÃO DE ACIDENTES

- ✓ Para que um processo seja considerado seguro, os riscos eminentes da indústria, como explosões, vazamentos, incêndios e outros precisam ser minimizados;
- ✓ A fim de prevenir acidentes relacionados aos processos químicos é necessário identificar reações que usem materiais de partida não perigosos na composição do produto desejado;
- ✓ A reação de obtenção do ácido adípico utiliza, como material de partida, a benzina, que pode causar câncer. Em um processo recentemente desenvolvido, a benzina dá lugar à simples glicose de açúcar, evitando o uso de grandes quantidades do material tóxico.

ÁREA DE ATUAÇÃO DA QUÍMICA VERDE

BIORREFINARIAS

As Biorrefinarias constituem-se de instalações e processos através dos quais a biomassa é convertida em insumos químicos, materiais, alimentos, biocombustíveis, reações e energia. Podem-se enquadrar as Biorrefinarias como refinarias que utilizam uma matéria-prima alternativa ao petróleo.



Fonte: Embrapa Agroenergia

BIORREFINARIAS: BIOQUÍMICA

- ✓ A rota bioquímica para obtenção de produtos, serviços e biocombustíveis vai de encontro à biotecnologia, ou seja, ao emprego de agentes biológicos como, por exemplo, organismos, moléculas e células nos processos químicos a fim de se obter o resultado desejado.
- ✓ Requer melhoramento das características da matéria-prima, redução de custos por meio de adequados processos de pré-tratamento, melhoramentos da eficácia das enzimas, redução dos custos de produção, melhoria completa e integração de processo

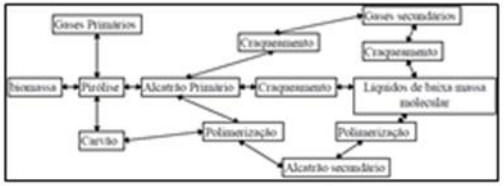
Produtos de origem biotecnológica
fonte: http://www.ort.org.br

PANORAMA NACIONAL E MUNDIAL DA BIOQUÍMICA

- Os levantamentos apontaram para a existência de 3.774 produções científicas e 1.359 patentes.
- No ranking dos 91 países com maior número de publicações científicas, os Estados Unidos são os que mais produzem, somando 1.004, seguido por China e Índia com, respectivamente, 317 e 289 publicações.
- O Brasil ocupa a 11ª colocação, com 132 artigos. Das 132 publicações científicas brasileiras, 124 são advindas de Universidades.

BIORREFINARIAS: TERMOQUÍMICA

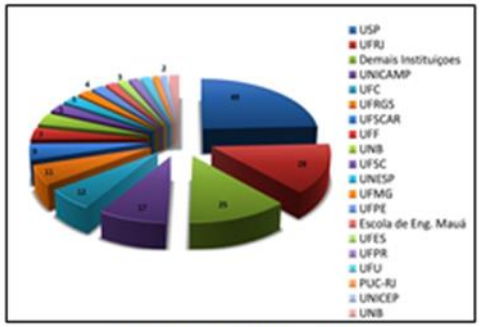
- ✓ A rota termoquímica para aproveitamento energético da biomassa se dá através do processo de pirólise, ou seja, pela ação do calor e do fogo;
- ✓ A pirólise consiste em aquecer a biomassa (entre 300°C a 500°C), na ausência quase por completo de ar, até que o material volátil seja retirado;
- ✓ O principal produto final é o carvão. Além de alcatrão, a pirólise produz alcatrão e uma fração pirolenhosa (extrato ou bioóleo).



Etapas da pirólise da biomassa vegetal
Fonte:UNICAMP

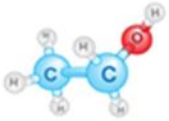
PANORAMA NACIONAL E MUNDIAL DA TERMOQUÍMICA

- ✓ Os levantamentos apontaram para a existência de 7.903 produções científicas e 4.802 patentes;
- ✓ Os Estados Unidos se destacam, mais uma vez, registrando 1.699, seguidos de China, com 934 e Japão, com 623;
- ✓ Dos 101 países que possuem publicações, o Brasil ocupa a 16ª colocação no ranking, com 201;
- ✓ Das publicações científicas brasileiras, a Universidade de São Paulo é a que mais registra artigos, com 49.



Publicações científicas por Universidade Brasileira
Fonte:CGEE

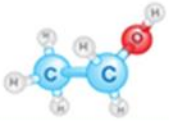
ALCOOLQUÍMICA



- ✓ Aponta para a utilização de etanol ou álcool etílico (CH_3CH_2OH) como matéria-prima para a fabricação de diversos produtos químicos.
- ✓ A Unidade de Eteno Verde da Braskem, produzido com etanol de cana-de-açúcar. A Empresa sagrou-se a maior fábrica do mundo a usar matéria-prima renovável, com capacidade de produção de 200 mil toneladas/ano.

Fonte: http://www.odebrechtonline.com.br

O ETANOL NO BRASIL



- ✓ O Brasil é o país mais avançado, do ponto de vista tecnológico, na produção e uso do etanol como combustível;
- ✓ O grande diferencial brasileiro consiste, no entanto, na grande disponibilidade de matéria-prima, ao grande volume de etanol produzido e o baixo custo de produção;
- ✓ A grande crítica ao etanol consiste na elevação nos preços dos alimentos. Isso ocorre, pois, as terras que deveriam ser usadas para cultivo dos mesmos serão, supostamente, desviadas para o plantio de matérias-primas para a produção de etanol.

PANORAMA MUNDIAL E NACIONAL DA ALCOOLQUÍMICA

- ✓ Na China a empresa "Heyang Ethanol and Bio-Glycols" pretende produzir 87 mil toneladas/ano de óxido de etileno a partir do eteno gerado a partir do etanol;
- ✓ No Brasil, empresas como a Dow Química, Braskem, Solvey e Rodhia já investem na geração de polietileno, eteno, etileno e acetato de etileno a partir do etanol.

Fonte: CGEE

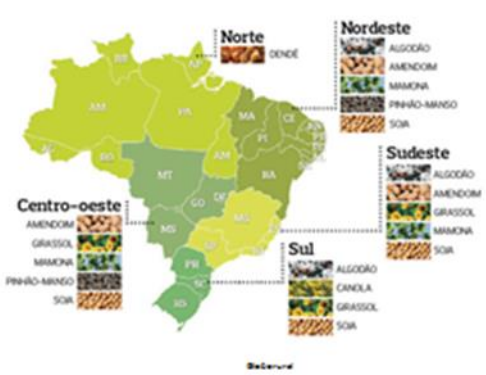
ÓLEOQUÍMICA

- ✓ Compreende processos de transformação de óleos vegetais e gorduras animais em produtos de alto valor agregado;
- ✓ Inclui também os novos processos que estão sendo objetos de P,D&L em consequência da utilização de matérias-primas oleaginosas como fontes de biodiesel;
- ✓ A primeira indústria de alcoóis graxos da América Latina é brasileira, localizada no Pólo Petroquímico de Camaçari, na Bahia.

ÓLEOQUÍMICA

MATÉRIAS-PRIMAS OLEAGINOSAS E PROTEOLEAGINOSAS

- ✓ Fornecem os óleos vegetais e as gorduras animais para geração de produtos alimentícios,industriais, de biocombustíveis, como o biodiesel e de insumos para os mais variados fins;
- ✓ O Brasil, grande produtor de oleaginosas,ostenta privilegiada situação quanto à disponibilidade de matérias-primas, decorrentes de uma biodiversidade inigualável.

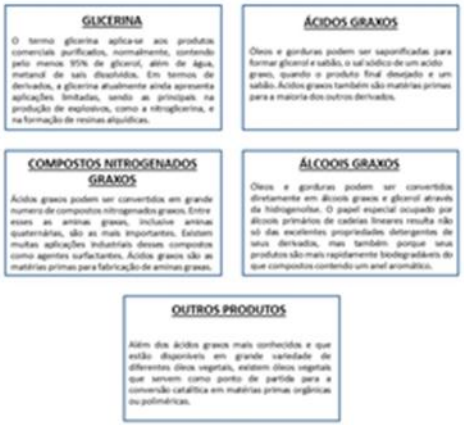


ÓLEOQUÍMICA

- ✓ Um dos maiores condicionantes relacionado à utilização de oleaginosas para a produção de insumos industriais se refere à disponibilidade de recursos.
- ✓ Em regiões em que há pouca variedade e quantidade de gêneros como a soja, o milho, o girassol e o dendê, o uso dos mesmos para fins energéticos pode ser prejudicial, já que compromete a alimentação humana e a animal.

ÓLEOQUÍMICA

- ✓ Resíduos como a glicerina, os ácidos graxos, compostos nitrogenados graxos, álcoois graxos e demais insumos são também matérias-primas para geração de produtos para a indústria óleoquímica.



Fonte: CGEE

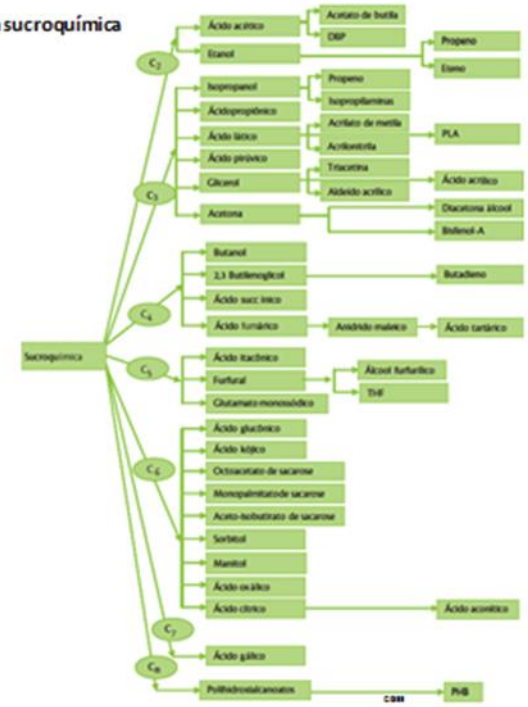
PANORAMA MUNDIAL E NACIONAL DA ÓLEOQUÍMICA

- ✓ A primeira patente foi requerida em 1989, por Wimmer Theodor, da Austrália;
- ✓ O Brasil teve sua primeira patente solicitada em 2003. O primeiro artigo do país foi publicado no ano 2000, abordando a temática "produção do biodiesel a partir de óleo de fritura";
- ✓ Países como Índia, Turquia, Espanha, Itália e Coréia perfazem o grupo que apenas tem publicado artigos com os temas da óleoquímica;
- ✓ Países como Estados Unidos, China, Japão, Canadá, Coréia do Sul, Alemanha e Reino Unido geram conhecimento científico e apropriam conhecimento tecnológico.

SUCROQUÍMICA

- ✓ Da cana de açúcar é extraída a sacarose, utilizada na produção de açúcar e álcool;
- ✓ A cana colhida contém a porção líquida, que é o caldo e também fibras de origem lignocelulósica como o bagaço e a palha;
- ✓ A queima do bagaço produz, segundo dados da Embrapa, cerca de 4450 kcal/kg;
- ✓ O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de açúcar. O setor sucroalcooleiro foi responsável por aproximadamente 2% do PIB Nacional e 8% do PIB da agricultura do Brasil em 2011, tendo empregado cerca de 4,5 milhões de pessoas.

Produtos de origem sucroquímica



PANORAMA MUNDIAL E NACIONAL DA SUCROQUÍMICA

- ✓ Os levantamentos apontaram para a existência de 7.580 produções científicas e 587 patentes;
- ✓ Dos 173 artigos de origem brasileira, o Estado de São Paulo é responsável por 50% das publicações, sendo a USP, do mesmo estado, responsável por 49;
- ✓ A Universidade Estadual de Campinas tem 19 artigos e pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, 10.

Acervo pessoal

CONVERSÃO DE CO_2

- ✓ O plantio e o crescimento de florestas permite o sequestro de carbono, ou seja, a absorção de grandes quantidades de CO_2 presentes na atmosfera;
- ✓ Na fase de crescimento, as árvores demandam grande quantidade de carbono para se desenvolver e acabam tirando esse elemento do ar;
- ✓ Cada hectare de floresta em desenvolvimento é capaz de absorver entre 150 a 200 toneladas de carbono.

CONVERSÃO DE CO_2 - MICROALGAS

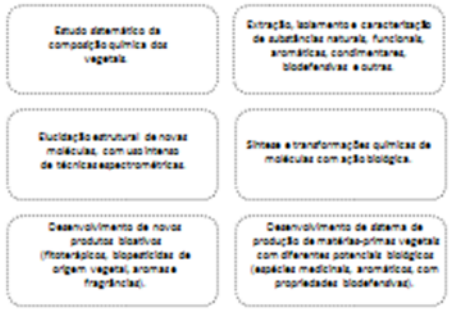
- ✓ Uma interessante alternativa para conversão de gás carbônico pode ser feita por intermédio de microalgas, através das quais o CO_2 é biofixado;
- ✓ As algas possuem vantagens frente às plantas convencionais, pois se proliferam rapidamente e toleram ambientes extremos.
- ✓ Enquanto plantas terrestres sequestram, aproximadamente, 0,036% de CO_2, as microalgas, que podem utilizar gases de escape das chaminés, atingem de 10 a 20%.
- ✓ Estima-se que cada tonelada de biomassa de alga produzida consuma 1,83 toneladas de CO_2.

PANORAMA MUNDIAL E NACIONAL DE CONVERSÃO DE CO_2

- ✓ Os levantamentos apontaram para a existência de 5.859 produções científicas e 5.303 patentes;
- ✓ Das 5.859 produções, 1.233 pertencem aos Estados Unidos, líder deste ranking, que tem 112 países;
- ✓ A segunda nação com o maior número de artigos é a China, com 727;
- ✓ O Brasil ocupa a 16ª colocação, ao lado da Polônia, com 123.;
- ✓ Das 123 publicações brasileiras, a Universidade de São Paulo é a que mais publica, somando 24.

FITOQUÍMICA

- ✓ A fitoquímica é a ciência que se encarrega do estudo dos componentes químicos dos vegetais, abrangendo desde a estrutura molecular até as propriedades biológicas dos mesmos;
- ✓ São considerados fitoquímicos, substancias naturais encontradas em legumes e verduras, mas que não se enquadram em outras classificações como, por exemplo, vitaminas, proteínas, carboidratos, gorduras ou minerais.



Principais linhas de pesquisa fitoquímica
CGSE

FITOQUÍMICA - FITOTERÁPICOS

✓Elaborados a partir de plantas medicinais e que possuem algum poder de cura associado;

✓Segundo dados do CGEE, 80% da população mundial utiliza plantas medicinais como medicação básica e 25% remédios prescritos por médicos são derivados de plantas;

✓O chá verde, por exemplo, é um fitoterápico comumente utilizado. Ele tem inúmeras ações como a antioxidante, anti-inflamatória, atua na redução e absorção de gorduras, aumenta a termogênese, dentre outros benefícios.

FITOQUÍMICA - BIOPESTICIDAS

✓Tem como finalidade prevenir a ação, controlar e/ou eliminar as pragas indesejáveis à agricultura e a pecuária, de forma natural e pouco danosa ao meio ambiente;

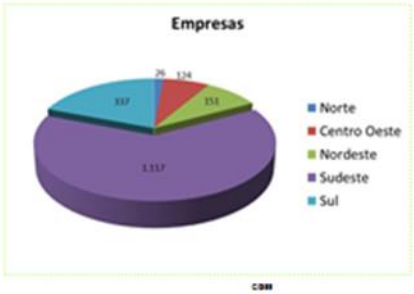
✓As principais vantagens associadas ao uso de biopesticidas residem no fato de evitarem perdas na colheita, ajudarem a planta no seu desenvolvimento e ser, ao mesmo tempo, economicamente rentável e ambientalmente correto.

✓São divididos em quatro grupos: bioinseticidas, biofungicidas, nematicidas e herbicidas biológicos.

FITOQUÍMICA – AMORAS E FRAGRÂNCIAS

✓Os aromas são utilizados para dar sabor e as fragrâncias intensificam o cheiro de determinado produto;

✓Existem no Brasil, segundo dados do CGEE, 1.755 empresas atuando no mercado de produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, dessas 14 são de grande porte e tem faturamento líquido de impostos acima de 100 milhões.



PANORAMA MUNDIAL E NACIONAL DA FITOQUÍMICA

- ✓ Foram detectadas 32.960 publicações cientificas relacionadas ao tema, sendo 6.768 nos Estados Unidos; 2.464 na China e 2.179 na Índia. Já com relação às patentes foram identificadas 18.503;
- ✓ O Brasil produziu 2.122 artigos.

BIOPRODUTOS, BIOCOMBUSTÍVEIS E BIOPROCESSOS

2012

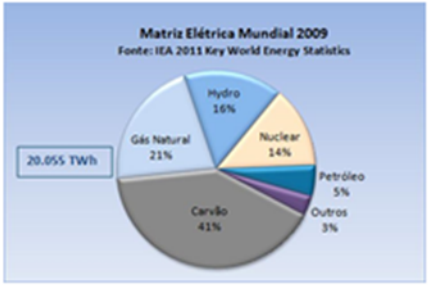
ENERGIAS RENOVÁVEIS

PANORAMA MUNDIAL E NACIONAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

- ✓ O Brasil é o país que possui a matriz energética mais limpa do mundo industrializado;
- ✓ Foram identificadas 68.429 publicações científicas e 67.514 patentes. Os Estados Unidos lideram o ranking das publicações com 18.564, seguido da China, com 6.456;
- ✓ O Brasil ocupa a 19ª colocação, em 172 países, com 1.207 artigos.;
- ✓ Os números brasileiros apontam a Universidade de São Paulo, a Universidade Estadual de Campinas e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, como líderes em publicações, com respectivamente, 275, 112 e 102.

PANORAMA MUNDIAL E NACIONAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

- ✓ Quando comparadas as emissões de dióxido de carbono, o Brasil emite quase a metade de CO_2 por tonelada equivalente de petróleo (tep).;
- ✓ Enquanto o Brasil emite 1,4 toneladas de CO_2/tep, o mundo registra 2,4;
- ✓ Em países que possuem a matriz energética alicerçada por fontes fósseis este número chega a 3 tCO2/tep.



CONCLUSÕES

Com a crescente e contínua preocupação com o meio ambiente conclui-se que a química verde, empregada em alguns processos industriais, será amplamente difundida nos próximos anos, na medida em que será necessário substituir os derivados de petróleo, por outros mais limpos, a fim de se adequar aos novos rumos da economia, focada em processos verdes.

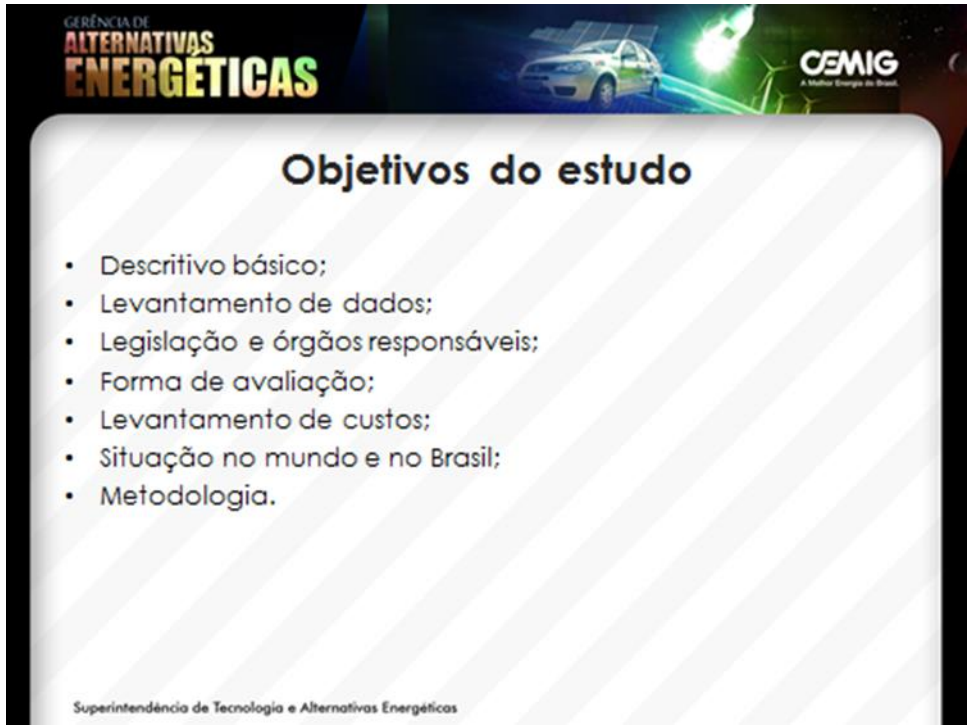
OBRIGADA!

"Já não há meio ambiente. Então preservemos o terço de ambiente que nos resta".
Vinicius Andrade

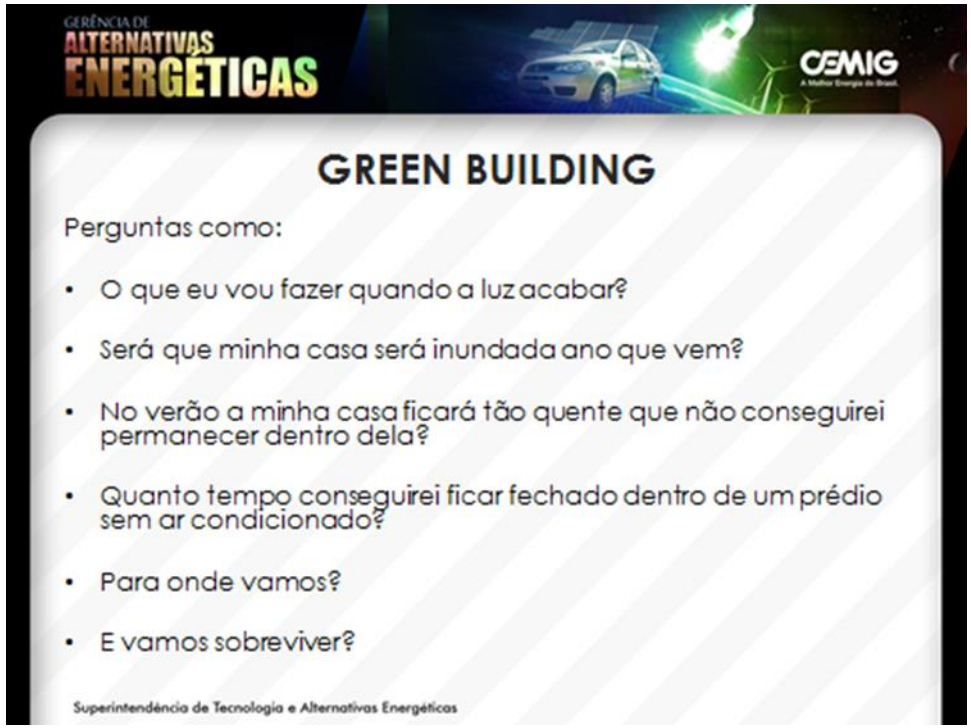
2012

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
Superintendência de
Tecnologia e Alternativas Energéticas
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
GREEN BUILDING
CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL
Superintendência de
Tecnologia e Alternativas Energéticas
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
Objetivos do estudo
• Descritivo básico;
• Levantamento de dados;
• Legislação e órgãos responsáveis;
• Forma de avaliação;
• Levantamento de custos;
• Situação no mundo e no Brasil;
• Metodologia.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
INTRODUÇÃO
Com a variação climática, os desastres ambientais que por muitos são decorrentes das mudanças ocorridas no mundo e ocasionadas pelo homem tomam como ponto de partida perguntas feitas para se refletir sobre o futuro da humanidade, e o que podemos fazer para minimizar estes danos.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
Perguntas como:
• O que eu vou fazer quando a luz acabar?
• Será que minha casa será inundada ano que vem?
• No verão a minha casa ficará tão quente que não conseguirei permanecer dentro dela?
• Quanto tempo conseguirei ficar fechado dentro de um prédio sem ar condicionado?
• Para onde vamos?
• E vamos sobreviver?
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
Pensando assim, vários governos começaram a adaptar seus projetos para que seja uma forma menos agressiva ao meio ambiente, visando a melhoria dos níveis de eficiência energética.
Para um melhor resultado, começaram a espalhar essa idéia através dos meios de comunicação a fim de mudar a forma sobre os modos de vida da população. Métodos como a reciclagem, a não utilização de fontes de energias convencionais e a criação de combustíveis não poluentes são alguns dos meios utilizados.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
GREEN BUILDING
➢ SUSTENTABILIDADE
O termo **Sustentabilidade** foi descrito depois da primeira Conferência Internacional das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, realizada em 1972 em Estocolmo.
O desenvolvimento sustentável é referido ao modo de desenvolvimento que objetiva alcançar a sustentabilidade atendendo às necessidades atuais dessa geração e expressar o seu maior potencial no presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de auto atenderem suas necessidades.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GREEN BUILDING
No cenário atual, o primeiro passo que vem sendo tomado pelas empresas do setor produtivo é a implantação ideal das bases para um desenvolvimento sustentável. Uma dessas pré-condições para uma boa base é ter um projeto de sustentabilidade de qualidade, onde estas garantam que níveis de excelência sejam atingidos, mantidos e disseminados nos processos.
A construção sustentável ou Green Building é apontado como uma sugestiva opção para projetos que almejam a construção de uma forma ambientalmente correta e visa a melhoria dos níveis de eficiência energética.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

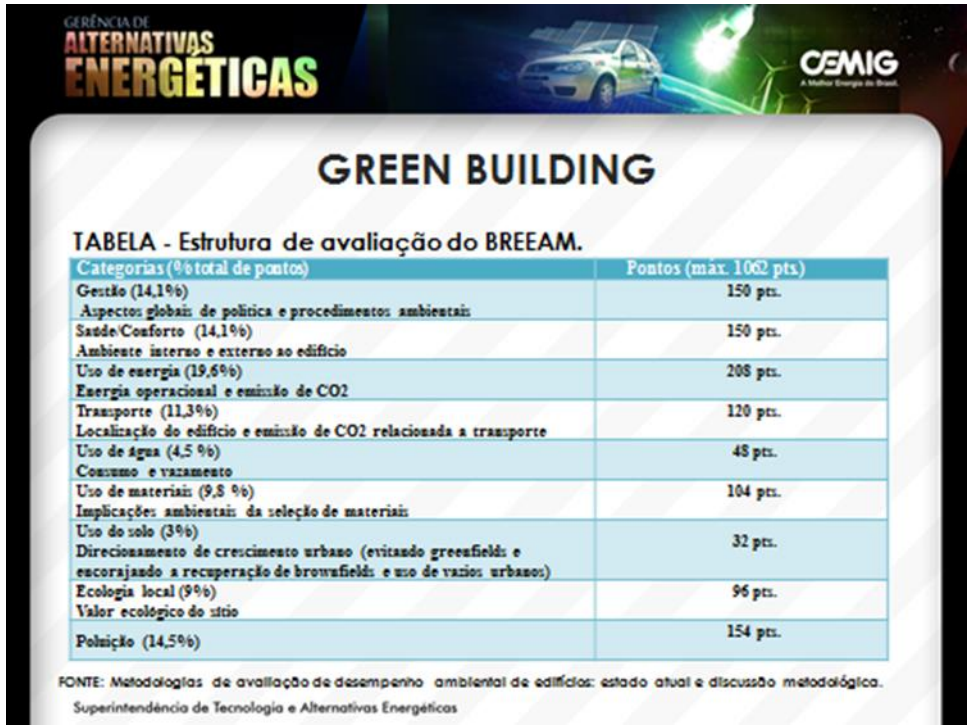
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
O termo GREEN BUILDING é utilizado para descrever projetos que reproduzam as seguintes características originais do meio ambiente natural:
• Planejamento sustentável da obra;
• Aproveitamento passivo dos recursos naturais;
• Gestão do uso da energia e economia da água;
• Gestão dos resíduos na edificação;
• Qualidade do ar e do ambiente interno;
• Conforto termo-acústico;
• Uso racional de materiais;
• Eficiência energética;
• Uso de produtos e tecnologias ambientalmente amigáveis.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

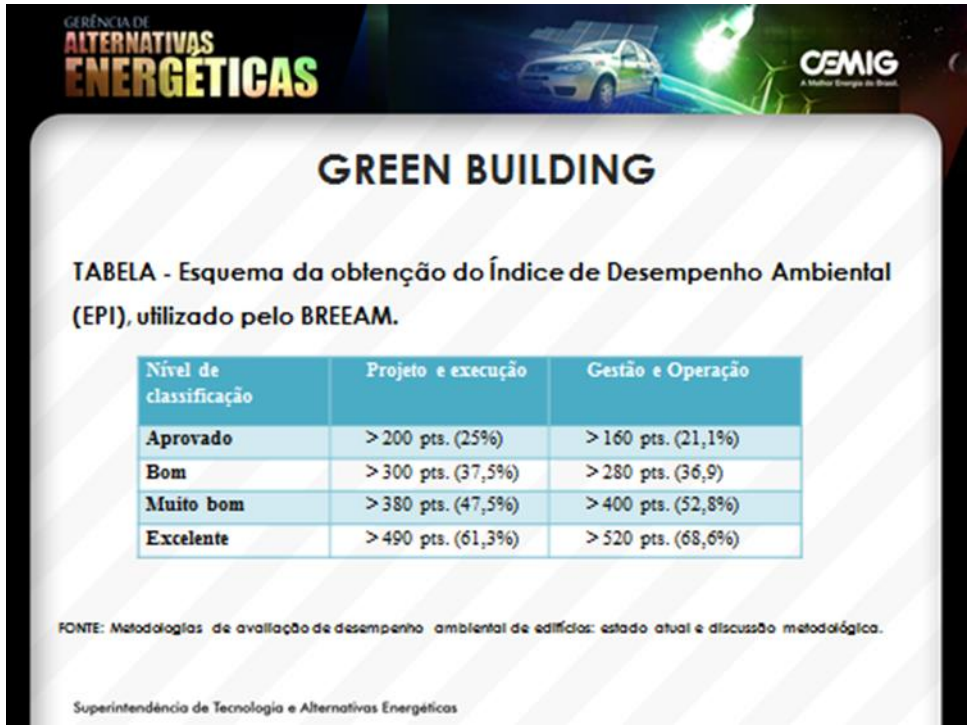
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
O assunto sobre as construções sustentáveis é um objeto de pesquisa e desenvolvimento que vários países apresentaram modos de especificações e padronização para garantir uma otimização nas construções.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICAÇÃO GREEN BUILDING
Dentre esses órgãos podem ser apresentados como as principais organizações de avaliação de sustentabilidade e certificação, juntamente com seus respectivos países os quais pertencem:
• BREEAM (Reino Unido)
• CASBEE (Japão)
• GBTool (Internacional)
• LEED (EUA)
• Démarche HQE (França)
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
BREEAM
O sistema BREEAM (Building Research Establishment Enviromental Assessment Method) foi criado em 1990 na Inglaterra e foi o primeiro sistema a oferecer em selo ambiental para edifícios, sendo precursor do sistema de certificação LEED.
Os principais diferenciais do BREEAM em relação às demais metodologias são: o rigor e profundidade de seus critérios, constantemente atualizados através da sua estreita relação com pesquisas acadêmicas e análise laboratorial do ciclo de vida de materiais e sistemas; e a sua adaptabilidade para ser aplicada em diferentes culturas, como calibragens regionais para refletir questões de diferenças ambientais que afetam outras partes do planeta.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
FIGURA - Blocos de critérios no processo de avaliação do BREEAM.
Projeto, edifícios novos e reabilitações
(mín. 200 pontos)
Projeto e execução
Desempenho
do edifício
Gestão e
Operação (O&M)
Edifícios existentes, desocupados
(EPI equivalente)
Edifícios existentes, em uso
(mín. 160 pontos)
FONTE: Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
TABELA - Estrutura de avaliação do BREEAM.
Categorias (% total de pontos)
Pontos (max. 1062 pts.)
Gestão (14,1%)
Aspectos globais de política e procedimentos ambientais
150 pts.
Saúde\Conforto (14,1%)
Ambiente interno e externo ao edifício
150 pts.
Uso de energia (19,6%)
Energia operacional e emissão de CO2
208 pts.
Transporte (11,3%)
Localização do edifício e emissão de CO2 relacionada a transporte
120 pts.
Uso de água (4,5 %)
Consumo e vazamento
48 pts.
Uso de materiais (9,8 %)
Implicações ambientais da seleção de materiais
104 pts.
Uso do solo (3%)
Direcionamento de crescimento urbano (evitando greenfields e encorajando a recuperação de brownfields e uso de vazios urbanos)
32 pts.
Ecologia local (9%)
Valor ecológico do sítio
96 pts.
Poluição (14,5%)
154 pts.
FONTE: Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

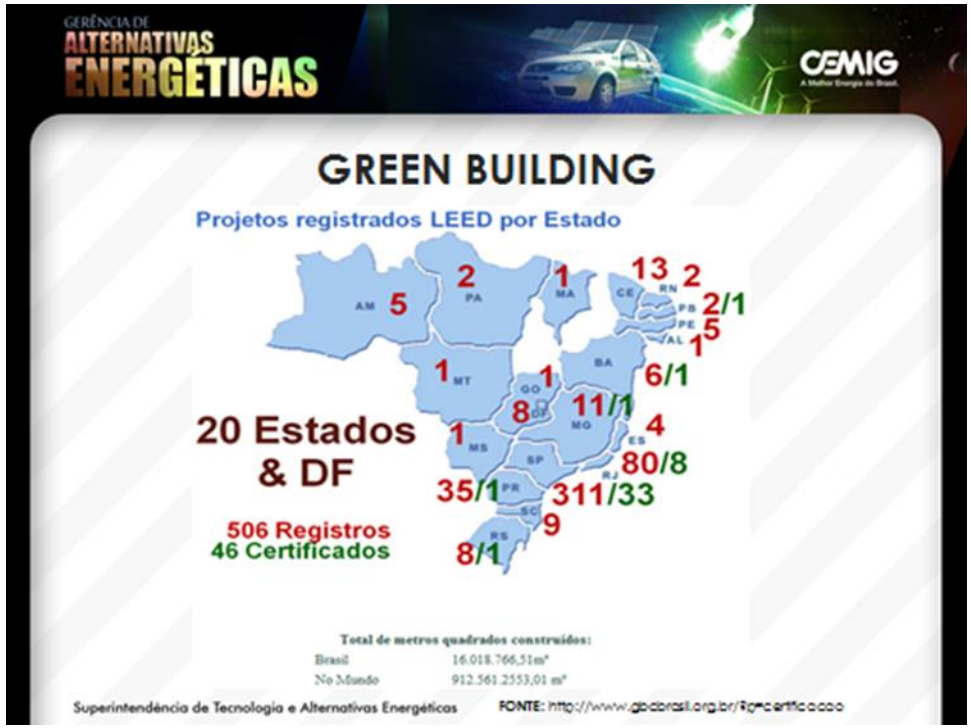

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
TABELA - Esquema da obtenção do Índice de Desempenho Ambiental (EPI), utilizado pelo BREEAM.
Nível de classificação | Projeto e execução | Gestão e Operação
Aprovado | > 200 pts. (25%) | > 160 pts. (21,1%)
Bom | > 300 pts. (37,5%) | > 280 pts. (36,9)
Muito bom | > 380 pts. (47,5%) | > 400 pts. (52,8%)
Excelente | > 490 pts. (61,3%) | > 520 pts. (68,6%)
FONTE: Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

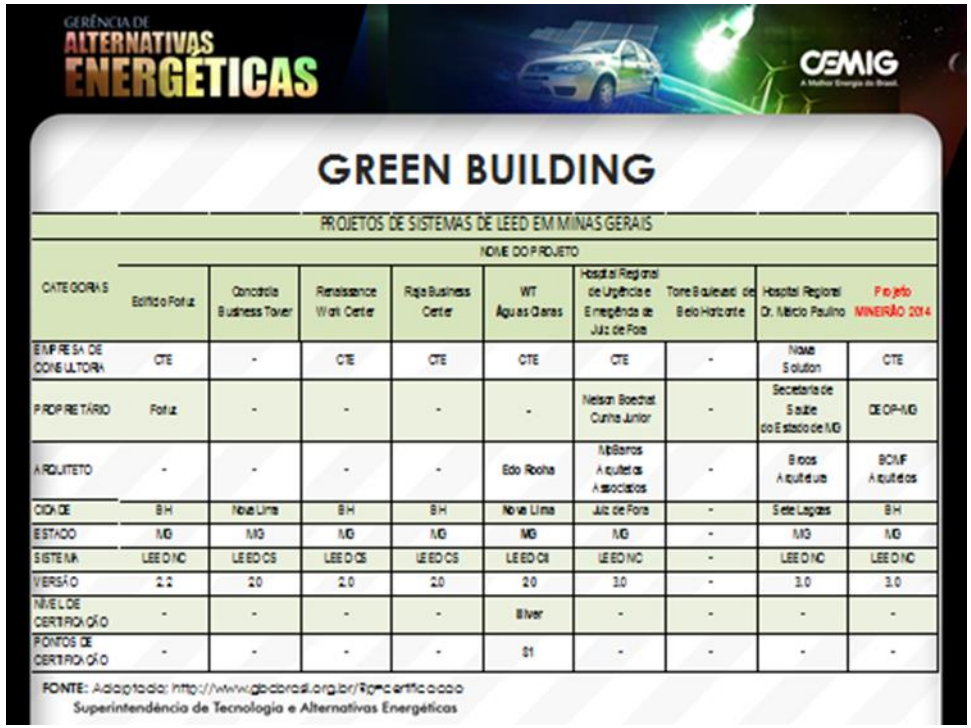
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
LEED
O certificado LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), criado em março de 2007, tem sido adaptado pelo Green Building Concil Brasil afim de regularizar algumas particularidades de construção nacional.
Para obter essa certificação são avaliados o consumo de energia, o reaproveitamento de água, o uso de materiais sustentáveis, a qualidade do ar interno, o controle de destinação de resíduos, entre outros vários itens. Atualmente, são cerca de 8 tipos de LEED e 69 critérios que valem pontos. Esses critérios levam em consideração todo o ciclo de vida do empreendimento, desde a sua concepção, construção, operação e descarte de resíduos após sua vida útil.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
LEED
Atualmente o GBC Brasil disponibiliza os seguintes tipos de LEED:
• LEED NC – Novas construções e grandes projetos de renovação
• LEED ND – Desenvolvimento de bairro (localidades)
• LEED CS – Projetos da envoltória e parte central do edifício
• LEED Retail NC e CI – Lojas de varejo
• LEED Healthcare – Unidades de saúde
• LEED EB_OM – Operação de manutenção de edifícios existentes
• LEED Schools – Escolas
• LEED CI – Projetos de interiores e edifícios comerciais.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
LEED
Além dos diferentes tipos e necessidades, a certificação também abrange diferentes níveis de acordo com o desempenho do empreendimento como Silver, Gold e Platinum, explicados e dispostos a seguir.
Caso atinja no mínimo 40 pontos e atenda os pré-requisitos da certificação, o prédio estará de acordo com as preocupações de sustentabilidade e recebe a certificação LEED básica. A partir de 50 pontos, recebe o certificado prata. Quando chega a 60, recebe o ouro. A partir de 80 pontos atinge-se a certificação máxima, que é de platina.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
LEED
Certificado 40 – 49 créditos
Silver 50 – 59 créditos
Gold 60 – 79 créditos
Platinum 80+ créditos
Hoje, o Brasil é o quarto no ranking mundial de construções verdes com 46 prédios certificados e 506 em processo de certificação, atrás apenas dos Estados Unidos, Emirados Árabes Unidos e China.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
Projetos registrados LEED por Estado
AM 5
PA 2
MA 1
CE 13
RN 2
PB 2/1
PE 5
AL 1
BA 6/1
MT 1
GO 1
DF 8
MG 11/1
ES 4
MS 1
SP
RJ 80/8
PR 35/1
SC 311/33
RS 9
8/1
20 Estados
& DF
506 Registros
46 Certificados
Total de metros quadrados construídos:
Brasil 16.018.766,51m²
No Mundo 912.561.2553,01 m²
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
FONTE: http://www.gbcbrasil.org.br/#gmcertificados



GREEN BUILDING

PROJETOS DE SISTEMAS DE LEED EM MINAS GERAIS

CATEGORIAS	NOME DO PROJETO								
	Edifício Fortuz	Concórdia Business Tower	Renaissance Work Center	Raja Business Center	WT Águas Claras	Hospital Regional de Urgência e Emergência de Juiz de Fora	Torre Boulevard de Belo Horizonte	Hospital Regional Dr. Márcio Paulino	Projeto MINEIRÃO 2014
EMPRESA DE CONSULTORIA	CTE	-	CTE	CTE	CTE	CTE	-	Nomã Solution	CTE
PROPRIETÁRIO	Fortuz	-	-	-	-	Nelson Boechat Cunha Junior	-	Secretaria de Saúde do Estado de MG	DEOP-MG
ARQUITETO	-	-	-	-	Edo Rocha	MdBarros Arquitetos Associados	-	Blocos Arquitetura	BCMF Arquitetos
CIDADE	BH	Nova Lima	BH	BH	Nova Lima	Juiz de Fora	-	Sete Lagoas	BH
ESTADO	MG	MG	MG	MG	MG	MG	-	MG	MG
SISTEMA	LEED NC	LEED CS	LEED CS	LEED CS	LEED CI	LEED NC	-	LEED NC	LEED NC
VERSÃO	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	-	3.0	3.0
NÍVEL DE CERTIFICAÇÃO	-	-	-	-	Silver	-	-	-	-
PONTOS DE CERTIFICAÇÃO	-	-	-	-	51	-	-	-	-

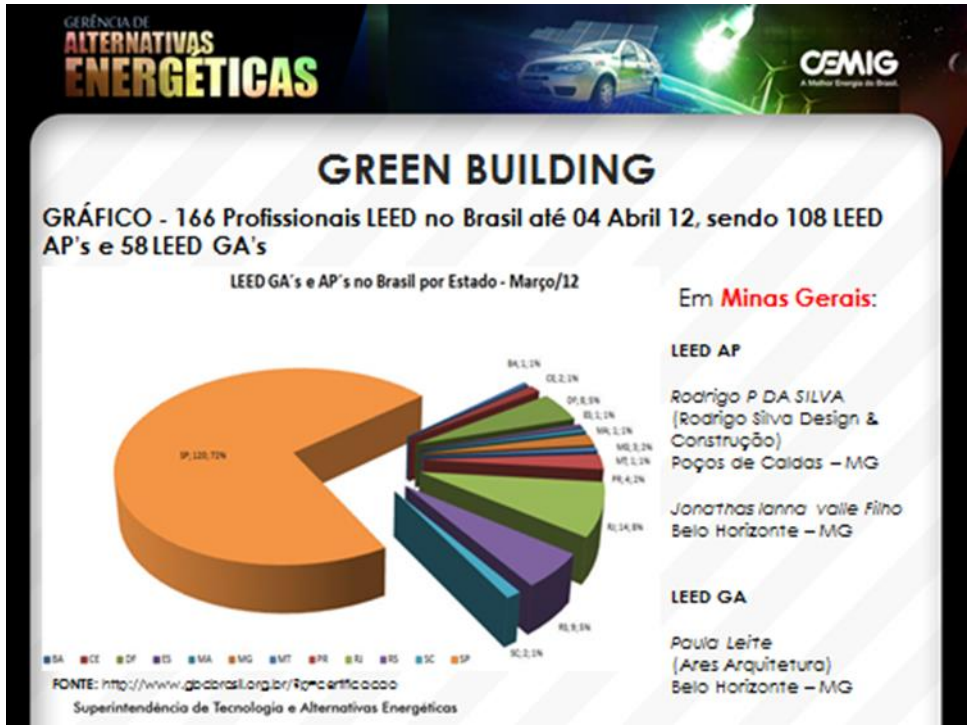
FONTE: Adaptado de: http://www.gbcbrasil.org.br/?pg=certificados

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
LEED
A presença de profissionais com profundos conhecimentos acerca desse sistema é essencial para a adequação dos projetos às condições exigidas para receberem a certificação. Para isso, a formação de profissionais titulados com o LEED GA (Green Associated) e LEED AP (Accredited Professional) é de suma importância para a construção de um Green Building que pretende possuir algum selo LEED.
O LEED GA é destinado a profissionais que apoiam a construção verde, bem como suas operações. Um profissional desta categoria tem os conhecimentos fundamentais sobre as práticas sustentáveis em construções e do próprio sistema LEED.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
LEED
Profissionais LEED AP são aqueles que tiveram seus conhecimentos acerca do processo de certificação LEED atestados por um exame. Estes possuem conhecimento sobre as práticas de construção sustentável e os princípios do sistema de certificação LEED, podendo facilitar o processo de certificação atuando como um consultor.
O programa do LEED AP é baseado no U.S LEED Rating System. A prova pode ser feita em sete cidades brasileiras. Os exames são: LEED Green Associate, LEED AP Building Design and Construction, LEED AP Interior Design and Construction, LEED AP Operations and Maintenance and LEED AP Neighborhood Development.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
LEED
A contratação destes profissionais ou empresas para prestar consultoria não é obrigatória, mas é sempre muito recomendada, pois facilitarão o entendimento e a aplicação da ferramenta.
Atualmente existem mais de 140.000 mil profissionais acreditados LEED AP no mundo.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
GRÁFICO - 166 Profissionais LEED no Brasil até 04 Abril 12, sendo 108 LEED AP's e 58 LEED GA's
LEED GA´s e AP´s no Brasil por Estado - Março/12
BA CE DF ES MA MG MT PR RJ RS SC SP
FONTE: http://www.gbcbrasil.org.br/#gmcertificados
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
Em Minas Gerais:
LEED AP
Rodrigo P DA SILVA
(Rodrigo Silva Design & Construção)
Poços de Caldas – MG
Jonathas Ianna Valle Filho
Belo Horizonte – MG
LEED GA
Paula Leite
(Ares Arquitetura)
Belo Horizonte – MG

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
AQUA
Outro critério de sustentabilidade ambiental para edificações disponível é o AQUA (Alta Qualidade Ambiental), o primeiro referencial técnico brasileiro desenvolvido e adaptado à realidade brasileira pela Fundação Vanzolini, maior certificadora nacional.
Criada em 2008, a norma já conta com 32 processos iniciados, 28 certificados emitidos (fases de concepção, programa e operação) e 17 empreendimentos certificados, totalizando cerca de 200 mil m² (dados atualizados em novembro de 2010).
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
AQUA
A certificação AQUA se baseia em 14 critérios de sustentabilidade divididos em quatro fases: eco-construção, eco-gestão, conforto e saúde, que se aplicam para diversos empreendimentos - residenciais, comerciais, complexos esportivos e habitação popular. Isso abrange a concepção, o projeto, a construção e a fase de uso dos empreendimentos.
A análise é voltada para que o empreendimento cause baixo impacto ao meio ambiente, consuma menos recursos naturais e gere menos resíduos.
Processo AQUA
CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

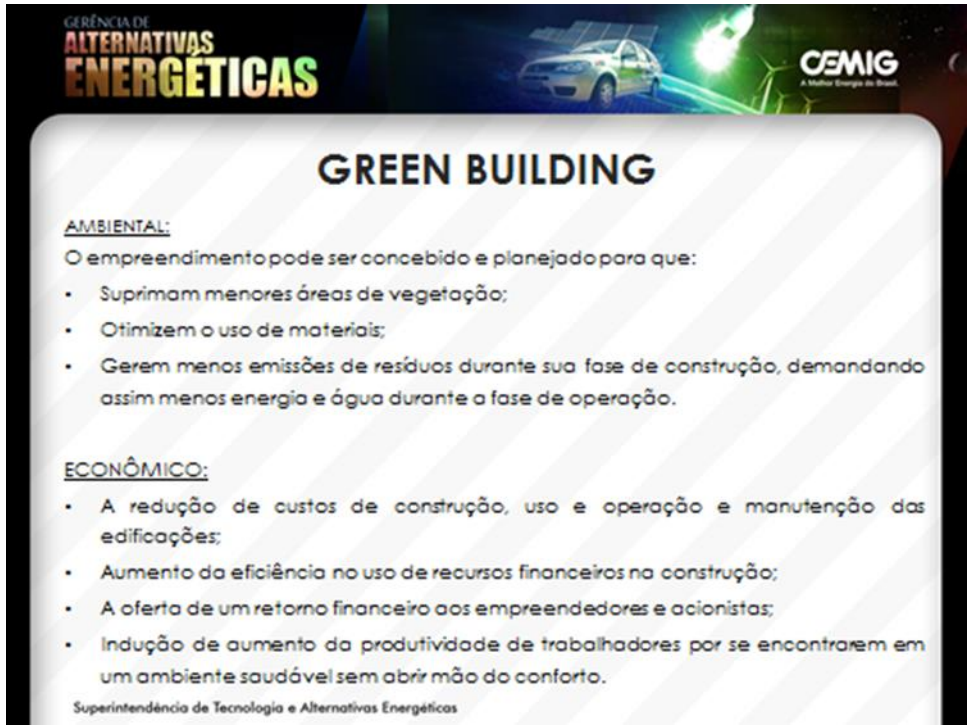
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
Selo SustentaX
O Grupo SustentaX é pioneiro em certificações Green Building na América do Sul. Durante o processo da primeira certificação LEED, verificou-se no mercado a necessidade de identificar produtos e serviços de acordo com os requisitos de sustentabilidade que tivessem também qualidade.
Dessa forma, o Grupo SustentaX desenvolveu o Selo SustentaX com o objetivo de dar fluidez ao crescente mercado de construções sustentáveis, reduzindo custos de concepção, implantação e operação de Green Building.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
Selo CASA AZUL
Há iniciativas também da Caixa Econômica Federal no segmento de casas populares, o Selo Casa Azul, destinado aos empreendimentos imobiliários que financiam e que adotem procedimentos e tecnologias sustentáveis.
Procel Edifica
Para edificações, o PROCEL EDIFICA, sistema de etiquetagem para incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação, etc.) nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
ORGANIZAÇÕES DE CERTIFICADOS GREEN BUILDING NO BRASIL
Imagens ilustrativas dos Selos SustentaX, CASA AZUL e Procel Edifica.
SUSTENTAX
GARANTIA de QUALIDADE e SUSTENTABILIDADE
CASA AZUL
CAIXA
CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL
Energia
Edifício Completo
Sistemas Individuais
Envoltória
Iluminação
Condicionamento do ar
PROCEL
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
BENEFÍCIOS DA CONSTRUÇÃO VERDE
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ BENEFÍCIOS DA CONSTRUÇÃO VERDE
Um empreendimento sustentável traz uma série de benefícios que visam minimizar os impactos causados e a redução de custos durante todo o ciclo de vida das edificações, tanto sociais, ambientais e econômicos, além de outros.
SOCIAL:
• Geração de empregos;
• Geração de renda na economia local;
• Promove a integração dos ocupantes do empreendimento sustentável com sua vizinhança e uma adequação arquitetônica com seu entorno.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
GREEN BUILDING
AMBIENTAL:
O empreendimento pode ser concebido e planejado para que:
• Suprimam menores áreas de vegetação;
• Otimizem o uso de materiais;
• Gerem menos emissões de resíduos durante sua fase de construção, demandando assim menos energia e água durante a fase de operação.
ECONÔMICO:
• A redução de custos de construção, uso e operação e manutenção das edificações;
• Aumento da eficiência no uso de recursos financeiros na construção;
• A oferta de um retorno financeiro aos empreendedores e acionistas;
• Indução de aumento da produtividade de trabalhadores por se encontrarem em um ambiente saudável sem abrir mão do conforto.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

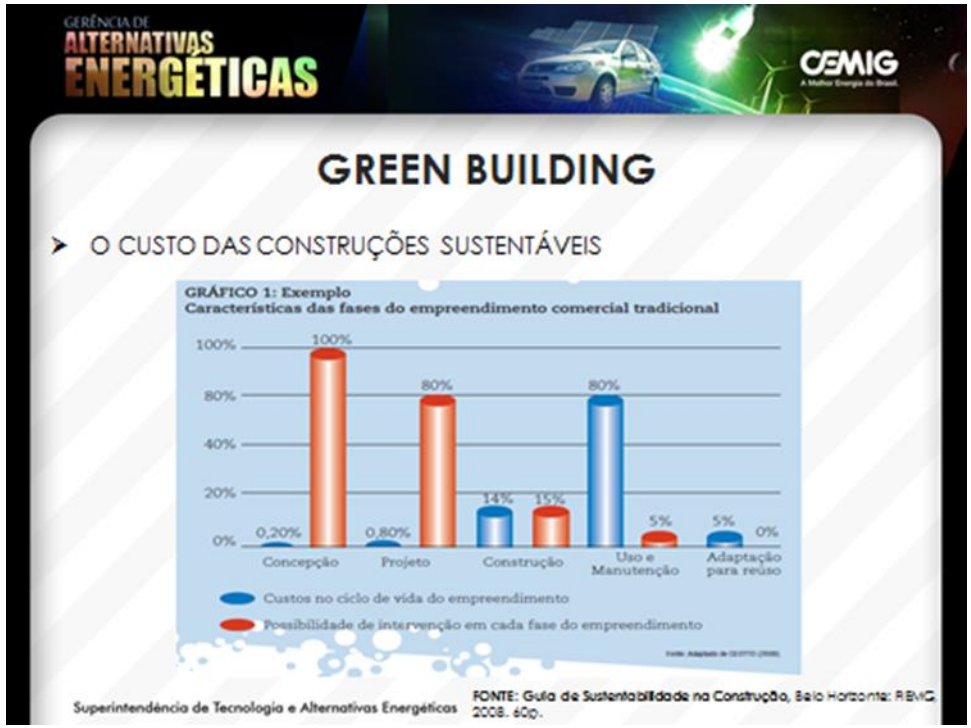
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
Deve-se ressaltar que projetos que incluem a variável sustentabilidade têm o potencial de venda maior e podem ser mais valorizados pelo mercado.
Hoje, a construção sustentável é um diferencial, mas em breve ela será um requisito. Afinal, só traz benefícios para os usuários e principalmente para o meio ambiente.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
O CUSTO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GREEN BUILDING
O CUSTO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
Um GREEN BUILDING geralmente tem um custo acima das construções tradicionais, porém este extra depende dos hábitos de trabalho de cada construtora. O preço de implementação de alguns sistemas ecológicos é, em média, 10% mais alto.
Um ótimo fator para que não se aumente muito os custos de uma construção sustentável é manter bons contratos trabalhistas, compra de materiais com nota fiscal e gestão de resíduos.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

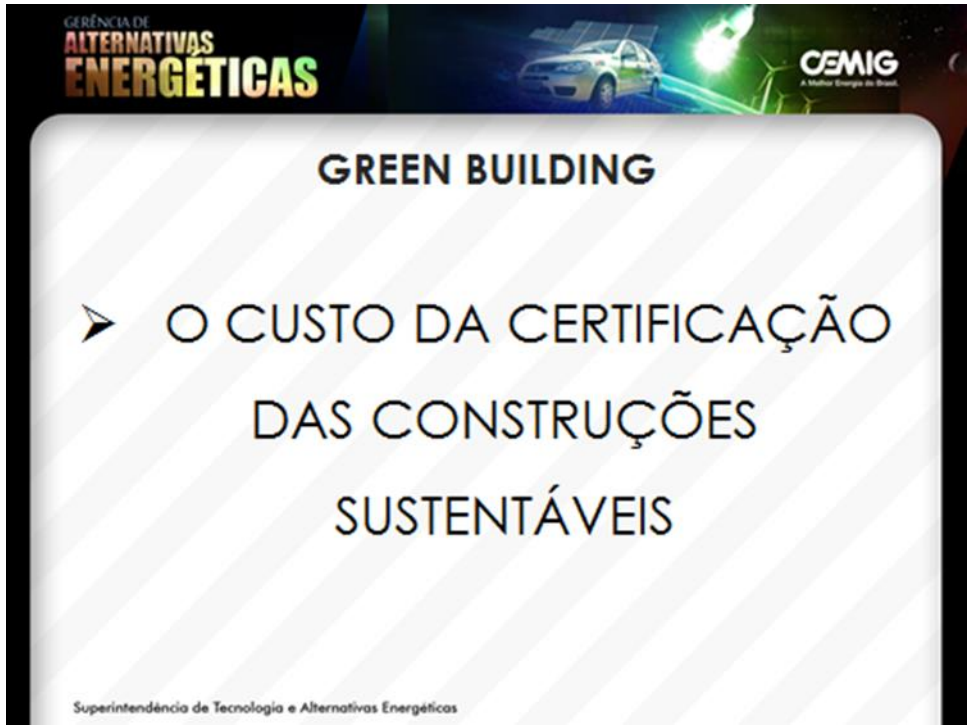
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ O CUSTO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
Para se ter uma idéia da importância de se agilizar o processo da construção sustentável, 40% de todos os recursos naturais disponíveis no planeta são consumidos pelo setor da construção civil. O desperdício em obras atingem cerca de 11 a 15% do seu custo.
Deve ser considerada toda sua vida útil e todos os aspectos que o envolvem, para que se consiga efetivamente buscar uma redução completa nos impactos negativos sociais e ambientais em todo o ciclo de vida das edificações. Ao longo de sua vida útil, 80% do custo total de um edifício equivalem à etapa de operação e apenas 20% à de construção.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
O CUSTO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
O ciclo de vida de edificações é geralmente dividido em 5 fases principais:
Concepção (envolve todos os estudos preliminares que incluem os estudos de viabilidade econômica, legislações, condições naturais e entorno);
Planejamento/Projeto (envolve todas as atividades entre o pré-projeto e o início da construção do empreendimento);
Construção/Implantação;
Uso/Ocupação;
Requalificação/Desconstrução/ Demolição.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
O CUSTO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
GRÁFICO 1: Exemplo
Características das fases do empreendimento comercial tradicional
100%
80%
40%
20%
0%
0,20%
100%
0,80%
80%
14%
15%
80%
5%
5%
0%
Concepção
Projeto
Construção
Uso e Manutenção
Adaptação para reúso
Custos no ciclo de vida do empreendimento
Possibilidade de intervenção em cada fase do empreendimento
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
FONTE: Guia de Sustentabilidade na Construção, Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p.

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
O CUSTO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
O que significa que quem investe um pouco mais para ampliar a eco-eficiência do empreendimento o qual será também usuário, obtém retorno rápido por meio da redução dos gastos operacionais.
ENERGIA 30%
EMISSÕES DE CARBONO 35%
ÁGUA 30-50%
DESCARTE DE RESÍDUOS 50-90%
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
GREEN BUILDING
➢ O CUSTO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
Com o aumento pela procura da certificação para construções sustentáveis, o preço das construções verdes vem diminuindo cada vez mais. Entre 2010 e 2011, a procura quase dobrou no Brasil, e a expectativa é de continuar crescendo no ano de 2012.
Este cenário vem se pendenciando a um comportamento raro de quando os interesses ambientais se unem aos econômicos, porque apesar de uma construção sustentável possuir um valor 5% a 8% mais caro, em média, a valorização estimada na revenda é de 10% a 20%, além de o investimento proporcionar até 30% de redução no valor do condomínio e diminuição média de 9% no custo de operação durante toda a vida útil.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
O CUSTO DA CERTIFICAÇÃO
DAS CONSTRUÇÕES
SUSTENTÁVEIS
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GREEN BUILDING
➢ O CUSTO DA CERTIFICAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
O custo do processo de certificação das construções sustentáveis é um fator importante a ser considerado na hora de escolher à qual órgão será submetido o empreendimento, pois influenciará no custo final de determinada construção.
Cada órgão de avaliação de sustentabilidade e certificação possui um custo estimado de acordo com o seu próprio critério de avaliação. Serão citados posteriormente algumas organizações brasileiras de certificação das construções sustentáveis.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ O CUSTO DA CERTIFICAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
LEED
O custo do processo de certificação LEED é estipulado de acordo com a área total do empreendimento, e é divido em auditorias de projetos e da obra, podendo ser analisados juntos ou separadamente, de acordo com a tabela a seguir.
O registro inicial do projeto junto ao Green Building Council é estimado em $1.200 para não membros ou $900 para membros da USGBC.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
O CUSTO DA CERTIFICAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
CERTIFICAÇÃO LEED (GREEN BUILDING COUNCIL)
Menos de 4.645 m²
4.645 – 46.451 m²
Mais de 46.451 m²
LEED 2009, nova construção, interiores comerciais, escolas, certificação Core & Shell completa
Taxa fixa
Baseado na metragem quadrada*
Taxa fixa
Auditoria de projetos
Membros USGBC
US$ 2,000
US$ 0.4306/m²
US$ 20,000
Não membros
US$ 2,250
US$ 0.4844/m²
US$ 22,500
Taxa especial*
US$ 5,000, independentemente da área
Auditoria da obra
Membros USGBC
$500 US$ 500
US$ 0.1076/m²
US$ 5,000
Não membros
$750 US$ 750
US$ 0.1615/m²
US$ 7,500
Taxa especial *
US$ 5,000, independentemente da área
Auditoria de projeto e obra juntos
Membros USGBC
US$ 2,250
US$ 0.4844/m²
US$ 22,500
Não membros
US$ 2,750
US$ 0.5920/m²
US$ 27,500
Taxa especial*
US$ 10,000, independentemente da área
LEED-EB-OM para os edifícios existentes
Taxa fixa
Baseado na metragem quadrada
Taxa fixa
Auditoria para certificação inicial
Membros USGBC
US$ 1,500
US$ 0.3229/m²
US$ 15,000
Não membros
US$ 2,000
US$ 0.4306/m²
US$ 20,000
Taxa especial*
US$ 10,000, independentemente da área
Auditoria para recertificação
Membros USGBC
US$ 750
US$ 0.1615/m²
US$ 7,500
Não membros
US$ 1,000
US$ 0.2153/m²
US$ 10,000
Taxa especial *
US$ 10,000, independentemente da área
LEED para Core & Shell: pré-certificação
Taxa fixa
Membros USGBC
US$ 3,250
Não membros
US$ 4,250
Taxa especial *
US$ 5,000
CIRs (para todos os sistemas de classificação)
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
FONTE: http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/162/imprime185685.asp

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ O CUSTO DA CERTIFICAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
LEED
Esse processo acompanha todo o cronograma do empreendimento, desde a fase inicial da escolha do local e o desenho do projeto até a entrega da obra. Pode ser feito em duas vezes, na fase do projeto e no término da obra, o que torna mais caro.
A consultoria não é obrigatória, sendo aproximadamente 0,5 a 1% do custo da obra. Porém, recomenda-se a contratação do consultor que é um profissional treinado e qualificado pelo LEED para tramitar toda a documentação junto ao Conselho.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

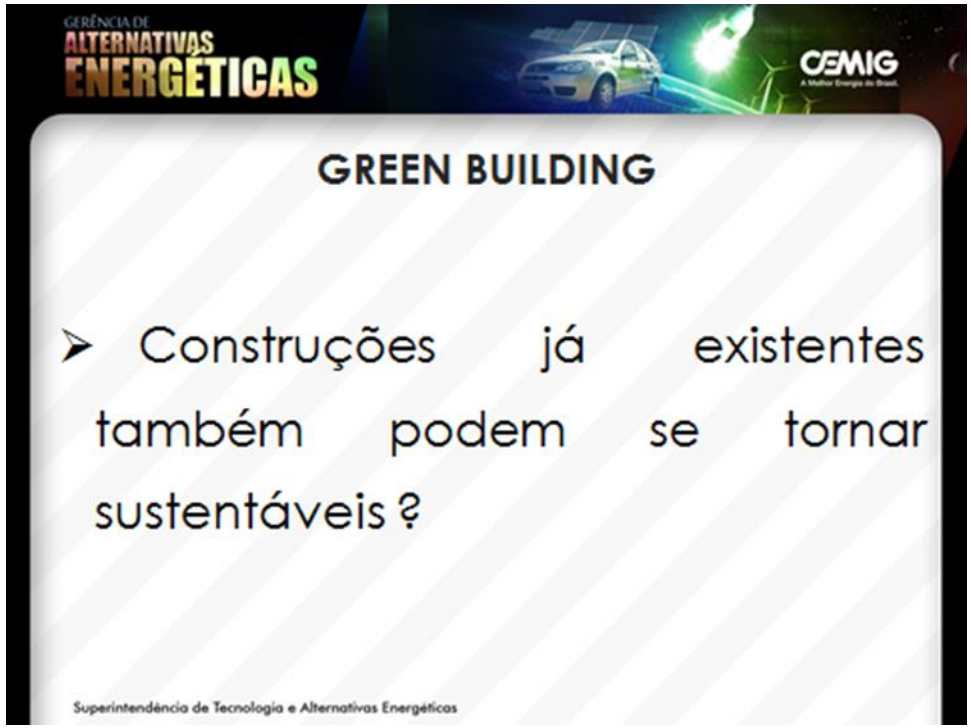
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GREEN BUILDING
➢ O CUSTO DA CERTIFICAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
LEED
Após a sua finalização e o início de operação do empreendimento, informações relativas ao projeto e o processo de construção são encaminhadas ao USGBC que, em um prazo de 25 dias úteis, realiza uma auditoria documental.
Novas informações podem ser solicitadas à equipe do empreendimento para uma segunda avaliação. Deve-se considerar um prazo médio de 4 a 6 meses após a conclusão da obra para obter a certificação LEED.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

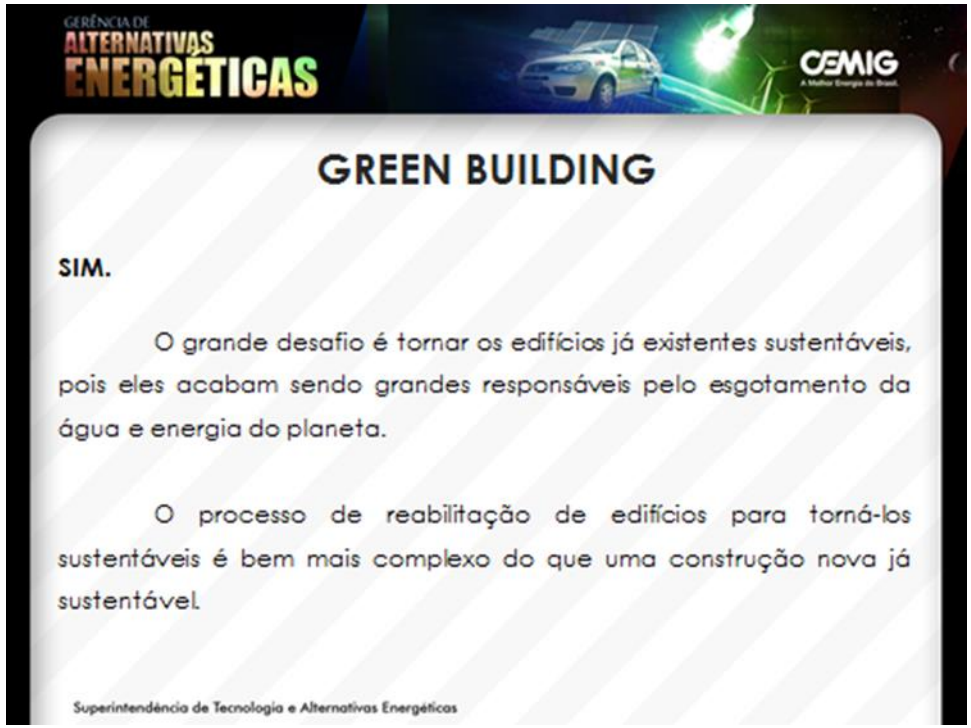
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
O CUSTO DA CERTIFICAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
AQUA
O valor total da certificação Processo AQUA pela Fundação Vanzolini, incluindo as auditorias presenciais, avaliações e emissões dos certificados nas três fases - Programa, Concepção e Realização - para um edifício comercial padrão com cerca de 10.000 m² construídos é de R$ 31.200,00, o que corresponde a R$ 3,12/m².
Como regra geral, o valor vai de R$ 17.500,00 para projetos com até 1.500 m² construídos, e acima de 1500 m² construídos o valor é de 1,609 R$/m². Para 45.000 m² ou mais metros quadrados construídos, o valor é R$ 87.500,00.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
O CUSTO DA CERTIFICAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
AQUA
Sua avaliação requer auditorias presenciais em todas as fases do projeto, ao mesmo tempo que é mais flexível, buscando soluções que possam ser adotadas de acordo com a realidade no Brasil.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
O CUSTO DA CERTIFICAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
Selo CASA AZUL
O processo de certificação em si para obtenção do Selo Casa Azul não é cobrado. Ao financiar um empreendimento habitacional, a Caixa recebe os projetos, analisa, visita a área e acompanha a obra até a entrega. O único custo adicional é uma taxa de R$ 360,00 no caso de vistorias específicas para os itens do selo, que às vezes têm que ser feitas fora das vistorias normais do financiamento.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
O CUSTO DA CERTIFICAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS
Procel Edifica
O custo médio estimado da avaliação do nível de eficiência energética de um projeto feita por um órgão de inspeção acreditado pelo Inmetro e de acordo com a metodologia de etiquetagem de edifícios, é de R$ 15 mil a R$ 20 mil. Nesse tipo de órgão certificador, não é possível estipular um custo médio por metro quadrado.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
Construções já existentes também podem se tornar sustentáveis?
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GREEN BUILDING
SIM.
O grande desafio é tornar os edifícios já existentes sustentáveis, pois eles acabam sendo grandes responsáveis pelo esgotamento da água e energia do planeta.
O processo de reabilitação de edifícios para torná-los sustentáveis é bem mais complexo do que uma construção nova já sustentável.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
GREEN BUILDING
Além da questão da ocupação dos edifícios, normalmente o processo de reabilitação sustentável encontra dificuldades devido ao canteiro de obras restrito, alta quantidade de resíduos de demolição, falta de cadastramento da situação real do edifício e incômodos gerados aos usuários e vizinhos.
O instituto AQUA, assim como o GBC Brasil, oferece certificações para construções que se encaixem nesse perfil. Para torná-la sustentável é preciso fazer uma análise minuciosa da situação atual baseados na qualidade ambiental das práticas (QAP) e na qualidade intrínseca do edifício (QI), que atende aos critérios de sustentabilidade como elementos de sombreamento de fachada, sistemas de ventilação natural, facilidade de acessos para manutenção, iluminação natural, entre outros.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
Uma vez concluída a análise inicial, é preciso traçar uma estratégia ambiental do edifício, hierarquizando quais iniciativas deverão ser postas em prática primeiro, sempre levando em consideração a relação custo x benefício x preservação do meio ambiente.
➢ EXEMPLO em São Paulo.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
GREEN BUILDINGS NO MUNDO
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

Edifício em Seul - **Coréia do Sul.**
A instalação conta com mil portas reaproveitadas, instaladas em toda a fachada.

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/4725/artista_sulcoreano_constroi_predio_com_1000_portas_reaproveitadas/

Projeto Café Deptford **(TDP)**, localizado no sudeste de **Londres**. Foi projetado a partir de um vagão de trem antigo doado pela South East Trains.

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/4725/artista_sulcoreano_constroi_predio_com_1000_portas_reaproveitadas/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

Edifício em Seul - **Coréia do Sul.**
A instalação conta com mil portas reaproveitadas, instaladas em toda a fachada.

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/4725/artista_sulcoreano_constroi_predio_com_1000_portas_reaproveitadas/

Projeto Café Deptford **(TDP)**, localizado no sudeste de **Londres**. Foi projetado a partir de um vagão de trem antigo doado pela South East Trains.

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/4725/artista_sulcoreano_constroi_predio_com_1000_portas_reaproveitadas/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

Loja de roupas AESTHERs instalada em um trailer reaproveitado em **Denton - Texas.**

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/3563/trailer_antigo_e_transformado_em_loja_de_roupas/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

Starbucks em **Washington - Estados Unidos**

FONTE: http://kmdwebb.com.br/blog/new/?p=8245

Loja Freitag vende bolsas sustentáveis feitas a partir de lona de caminhão em **Zurique - Suíça.**
É composta por 17 contêineres que alcançam 26 m de altura.

FONTE: http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/2456/loja_suica_feita_com_containeres_tem_26_metros_de_altura/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

O Mercado Dekalb localizado no Shopping Downtown Brooklyn, é uma novo ponto turístico de **Nova York - Estados Unidos.**

O espaço foi construído a partir do reaproveitamento de uma coleção de 40 contêineres recuperados e reúne em um ambiente comunitário 22 empresas locais.

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br//noticia.php/3010/centro_dia_nova_york_ganha_mercado_feito_com_containeres_reaproveitados/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

O Boxpark é um centro comercial construído a partir de contêineres reaproveitados. O pequeno shopping está instalado na área leste de **Londres** e abriga lojas de roupas e calçados, além de pequenos restaurantes saudáveis.

A estrutura completa contém 60 contêineres, que são divididos em blocos, cada um com cinco lojas. Na parte superior também são espalhados alguns contêineres que formam pequenas praças de alimentação e de descanso.

FONTE: http://www.cidadevivo.com.br/noticia.php/3951/londres_tem_shopping_construido_com_60_containeres/

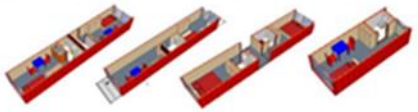
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

Keetwonen é o nome da maior cidade de contêineres do mundo. O projeto de moradia estudantil transformou mil unidades de contêineres em **Amsterdã - Holanda.**



FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/4301/containeres_reutilizados_viram_condominio_estudantil_em_amsterdo/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

GREEN BUILDING

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/4544/jardim_botanico_canadense_tem_construcao_com_selo_leed_platina/

Centro de Visitas do Jardim Botânico VanDusen.
Vancouver - Canadá

Recebeu a certificação LEED Platina.

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
Centro de Visitas do Jardim Botânico VanDusen.
Vancouver - Canadá
FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/4544/jardim_botanico_canadense_tem_construcao_com_selo_leed_platina/
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

O Centro Cultural Jean-Marie Tjibaou foi inteiramente planejado com base na cultura Kanak, um tribo da região de Nouméa, na ilha de **Nova Caledônia, no Pacífico Sul**.

Projetado pelo famoso arquiteto italiano, Renzo Piano, a obra é considerada uma das pioneiras da arquitetura sustentável.

FONTE: http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/3849/centro_cultural_em_ilha_do_pacifico_e_um_classico_da_arquitetura_sustentavel/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

As cabanas foram feitas com a madeira iroko, tradicional da região, combinadas com estrutura de aço e fechamentos em vidro.

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/3849/centro_cultural_em_ilha_do_pacifico_e_um_classico_da_arquitetura_sustentavel/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

O arquiteto francês Laurent Saint Val foi inspirado pela tradicional arte de fazer cestas em forma de casulo, compostas de tecelagem de fibras de plantas naturais disponíveis localmente, para criar um projeto habitacional para **Port-au-Prince - Haiti**.

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/4708/arquiteto_frances_projeto_conjunto_residencial_feito_de_bambu/

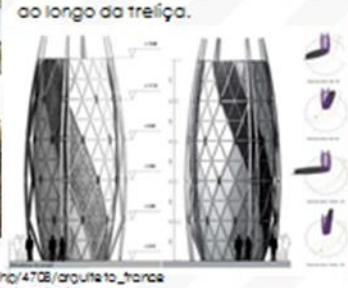
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

Uma espécie de trama é construída sobre uma base de concreto. A edificação é um conjunto de seções de bambu, ligadas entre si por juntas de soquetes metálicos. Estas treliças seguram uma progressão geométrica da abertura das janelas e porta de entrada. No lado exposto ao sol, aberturas em ripas de madeira deixam entrar a luz, mas mantém o ambiente interno protegido. A fachada menos exposta pode introduzir mais aberturas de vidro. O local é caracterizado por uma tela impermeável no lado Norte, que achata ao longo da treliça.



FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/4708/arquiteto_franca_projeta_conjunto_residencial_feito_de_bambu/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

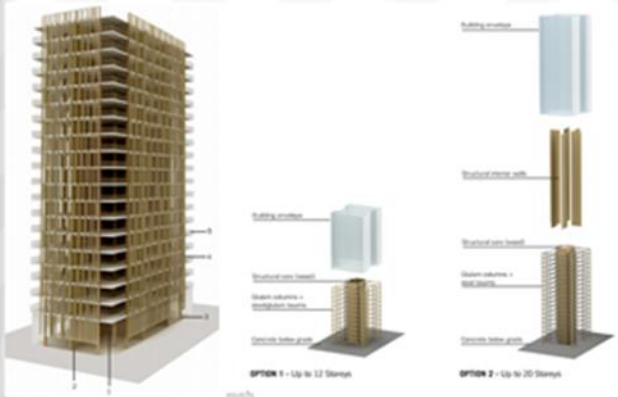
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS FUTUROS DE GREEN BUILDINGS NO MUNDO
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

Edifício de madeira mais alto do mundo.



OPTION 1 - Up to 12 Storeys

OPTION 2 - Up to 20 Storeys

mgb

Michael Green projetou um edifício de estrutura de madeira com 30 pavimentos em **Vancouver - Canadá.**

A estrutura principal do edifício é feita de vigas de madeira laminada que são muito resistentes frente ao fogo. Na face exterior se forma uma capa carbonizada que protege a estrutura da madeira em seu interior. O ponto mais fraco neste caso são as conexões metálicas.

FONTE:
http://www.forumdaconstrucao.com.br/var_noticia.php?Tipo=31&Cod=380
http://www.archdaily.com.br/40695/edificio-de-madeira-mais-alto-do-mundo-sera-construido-no-canada/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

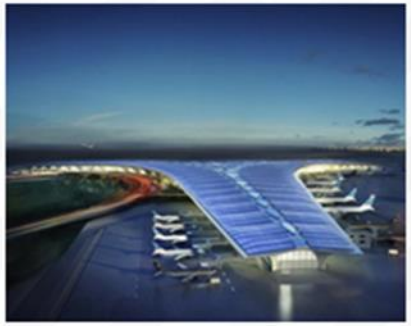
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/4333/projeto_para_aeroporto_internacional_do_kuwait_visa_selo_leed_gold/

- Projeto para aeroporto Internacional do **Kuwait**.

O projeto visa receber a certificação LEED Gold.



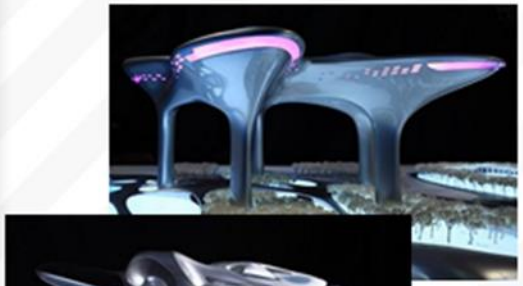
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
Projeto para aeroporto Internacional do Kuwait.
FONTE:
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING



O projeto prevê o desenvolvimento de uma estrutura totalmente sustentável, um museu capaz de "flutuar" como uma nuvem, localizado na cidade de **Xiamen - China.**

Apesar da aparência plana, o museu flutuante terá três níveis - o espaço de baixo, o interior do museu e o telhado com painéis solares. O piso térreo é ajustado para ter áreas ajardinadas que serão abertas para o público bem como as áreas de esportes, anfiteatros e espaços para reunião.

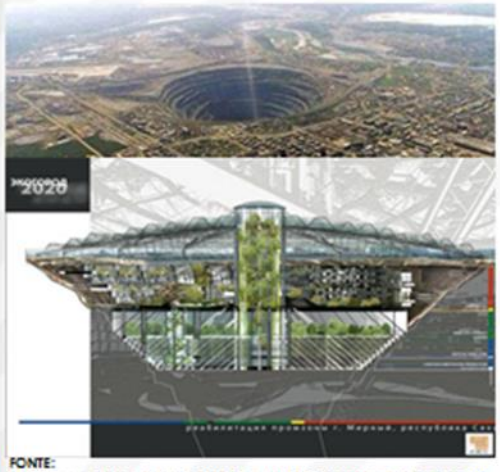
FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/1675/chineses_projetam_museu_flutuante_totalmente_sustentavel/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING



FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/1588/segunda_maior_mina_do_mundo_sera_transformada_em_cidade_sustentavel/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

A segunda maior mina já escavada pelo homem, em **Mirny, no leste da Sibéria**, tem cerca de 550 m de profundidade e 1 km de diâmetro, e em breve esta mina desativada irá se transformar em uma cidade subterrânea, a Eco-City 2020.

Todo o complexo se construiria na vertical, em três níveis principais, ao redor de um grande núcleo central, que abrigaria a maior parte das infraestruturas como fazendas verticais, florestas e áreas de lazer bem como o centro de investigação. A cidade verde pode atrair turistas e acomodar até 100 mil pessoas e casas de nível residencial.

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

Projetado pelo genial arquiteto Norman Foster, o Crystal Island Tower em **Moscou - Rússia**, abrange uma área total de 2,5 milhões de m² e 450 m de altura. O projeto em construção será uma das estruturas mais altas no planeta e a mais larga.

Situada na Península de Nagatino, a Ilha de Cristal terá uma plataforma no topo para vista panorâmica da cidade, onde os visitantes poderão apreciar o Kremlin, sede do governo russo, distante 7,5 km da edificação.

FONTE: http://www.portaldoarquiteto.com/destaques/outros/4080

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
OBRAS MAIS SUSTENTÁVEIS
NO MUNDO
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
➢ OBRAS MAIS SUSTENTÁVEIS NO MUNDO
Bank of America Tower, One Bryant Park - Nova York, EUA
Foi o primeiro edifício do mundo a receber o selo de certificação ambiental LEED Platinum.
Council House 2 (CH2) – Melbourne, Austrália
O primeiro a receber a classificação Seis Estrelas no Green Building Council da Austrália.
FONTE: http://www.diclavivo.com.br/noticia.php/1036/as_obras_mais_sustentaveis_do_mundo/
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

➢ OBRAS MAIS SUSTENTÁVEIS NO MUNDO

30 The Bond - Sydney, Austrália

A obra alcançou cinco estrelas no Green Star and Building Greenhouse Rating Scheme (ABGR).

Sede do jornal The New York Times - Nova York, Estados Unidos

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/1036/as_obras_mais_sustentaveis_do_mundo/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

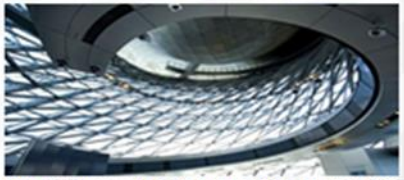
GREEN BUILDING

- OBRAS MAIS SUSTENTÁVEIS NO MUNDO

Clinton Presidential Library, Little Rock - Arkansas, Estados Unidos

Considerado uma das construções mais verdes do mundo, recebeu certificações LEED Sylver e Platinum.

BMW Welt – Munique, Alemanha



FONTE:http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/1036/as_obras_mais_sustentaveis_do_mundo/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

➢ OBRAS MAIS SUSTENTÁVEIS NO MUNDO

Oslo Airport – Gardermoen, Noruega

Deutsch Reichstag – Berlim, Alemanha

FONTE:http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/1127/os_10_maiores_exemplos_de_arquitetura_sustentavel_do_mundo/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

GREEN BUILDING

- OBRAS MAIS SUSTENTÁVEIS NO MUNDO

Sede do banco Commerzbank - Frankfurt, Alemanha

Dell'Angelo Hospital – Veneto, Itália

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

FONTE:http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/1127/os_10_maiores_exemplos_de_arquitetura_sustentavel_do_mundo/

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
GREEN BUILDINGS NO BRASIL
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

GREEN BUILDING

- GREEN BUILDINGS NO BRASIL

Banco Real Santander Headquarters – São Paulo, SP

FONTE: http://arquitectonica.com/projects/filter/

Prédio da Petrobrás - Rio de Janeiro, RJ

FONTE: http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/sustentabilidade-tambem-e-responsabilidade-social/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

GREEN BUILDING

- GREEN BUILDINGS NO BRASIL

Condomínio Comendador Yerchanik Kissajikian (CYK), localizado na Avenida Paulista – São Paulo, SP

FONTE:
http://www.revistafator.com.br/ver_noticia.php?not=164899

Edifício da Editora Abril, localizado na Marginal Pinheiros – São Paulo, SP

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/4275/brasil_ganha_mais_duas_construcoes_sustentaveis_em_2012

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

➢ GREEN BUILDINGS NO BRASIL

Complexo de escritórios Rochaverá Corporate Towers - São Paulo, SP

FONTE: http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=733472

Uma agência do Banco Real na unidade da Granja Viana, em Cotia - SP, foi o primeiro projeto certificado no Brasil com o selo LEED.

FONTE: http://www.revistainfra.com.br/textos.asp?codigo=10274

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

GREEN BUILDING

- GREEN BUILDINGS NO BRASIL

Concessionária do Grupo Servopa, na Av. das Torres – Curitiba, PR

FONTE: http://www.revistainfra.com.br/textos.asp?codigo=11400

Loja da Starbucks Brasil localizada no Shopping Rio Sul – Rio de janeiro, RJ

FONTE: http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/4275/brasil_ganha_mais_duas_construcoes_sustentaveis_em_2012/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
GREEN BUILDINGS NO BRASIL
Pão de Açúcar Indaiatuba, SP
Pão de Açúcar Vila Clementino
O Primeiro Supermercado Verde da América Latina
SEJA BEM-VINDO
O Que é Uma Atitude Sustentável?
FONTE: http://www.fiabci.com.br/ws2010/newsletter.asp?id=302
FONTE: http://imprensa.grupopaodeacucar.com.br/grupo-pao-de-acucar-e-indicado-ao-premio-greenbest-2012/
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS FUTUROS DE GREEN BUILDINGS NO BRASIL
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

Primeiro shopping center com certificação Green Building no Brasil: o Américas Shopping será construído no Recreio dos Bandeirantes, no **Rio de Janeiro.**

FONTE:
http://www.vanzolini.org.br/noticias.asp?cod_site=0&id_noticia=374

Leroy Merlin será a 1º Loja de Varejo com Certificação Sustentável no país, localizada em Niterói no estado do **Rio de Janeiro.**

FONTE: http://www.revistamundoeco.com.br/mundoeco-1_loja_sustentavel_certificada_do_pais.html

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

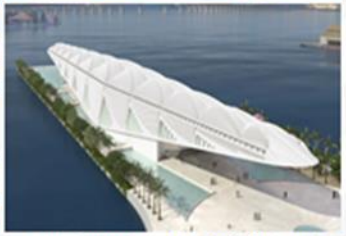
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GREEN BUILDING

O **Rio de Janeiro** está investindo em sustentabilidade em seus centros culturais.

Os primeiros locais a serem beneficiados por este ideal são o Museu da Imagem e do Som (MIS) e o Museu do Amanhã, ambos construídos dentro dos padrões da certificação LEED.

A previsão é que as obras terminem no primeiro semestre de 2013.



FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/3474/rio_de_janeiro_investe_na_construcao_de_museus_sustentaveis/

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GREEN BUILDING
Câmara Municipal se tornará um prédio sustentável.
A equipe de infraestrutura da Câmara Municipal apresentou aos vereadores o plano de "Retrofit" da sede do Legislativo Paulistano.
As vantagens da modernização do Palácio Anchieta vão desde a economia de água e de energia a um ambiente de trabalho mais saudável e confortável, com melhor qualidade do ar e iluminação. Além destas iniciativas, o projeto também conta com implantação de uma cobertura vegetal (telhado verde), a implantação de um sistema de aproveitamento da água da chuva e a utilização de energia solar para o funcionamento dos copos.
No âmbito da economia energética, preveem a instalação de um sistema de ventilação central com uso de gás ecológico, diminuindo os gastos com ar condicionado e possibilitando a reforma da fachada do edifício, atualmente ocupada pelos aparelhos. Além disso, com mudanças na iluminação, o uso de luminárias pode cair em até 50%.
As reformas deverão ser sustentáveis também na sua execução, com o aproveitamento de materiais de demolição e contratação de empresas regionais, diminuindo custos e impactos de transporte.
FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/2854/palacio_anchieta_um_predio_sustentavel/
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS FUTUROS DE GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS FUTUROS DE GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS PARA GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014
Verdão / Cuiabá - MT
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/mpdia/relatorio_ciclo_15022011.pdf

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS PARA GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014
Arena da Baixada / Curitiba - PR
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/mediа/relatorio_ciclo_15022011.pdf

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS PARA GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014
Castelão / Fortaleza - CE
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/mediа/relatorio_ciclo_15022011.pdf

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS PARA GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014
Vivaldão / Manaus - AM
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/mediа/relatorio_ciclo_15022011.pdf

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

GREEN BUILDING

- PROJETOS PARA GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014

Arena das Dunas / Natal - RN

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/mediа/relatorio_ciclo_15022011.pdf

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS PARA GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014
Beira-Rio / Porto Alegre - RS
FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/media/relatorio_ciclo_15022011.pdf
http://www.skyscrapercity.com/projetos/13968-porto-alegre-estadio-beira-rio-copa2014-a.html
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

GREEN BUILDING

- PROJETOS PARA GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014

Arena Capibaribe (Arena Cidade da Copa) / Recife - PE

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

FONTE: http://www.ciclovivo.com.br/mpdia/relatorio_ciclo_15022011.pdf

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS PARA GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014
Maracanã / Rio de Janeiro - RJ
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/mediа/relatorio_ciclo_15022011.pdf

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS PARA GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014
Fonte Nova / Salvador - BA
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
FONTE:

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS PARA GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014
Morumbi / São Paulo - SP
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
FONTE:
http://www.ciclovivo.com.br/media/relatorio_ciclo_15022011.pdf

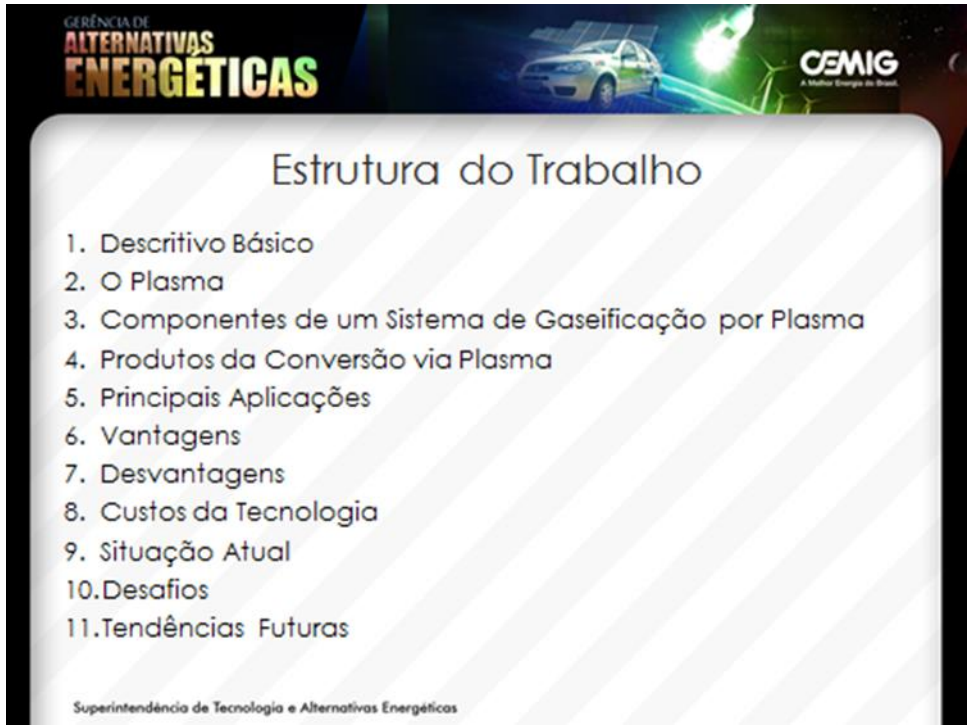
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
GREEN BUILDING
PROJETOS PARA GREEN BUILDINGS NO BRASIL PARA A COPA 2014
Mineirão / Belo Horizonte - MG
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
FONTE:

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GREEN BUILDING
➤ CONCLUSÃO
Avaliando os aspectos técnicos, econômicos e ambientais, a construção sustentável se mostra em um caminho bastante eficaz e ainda pode vir a crescer bastante em âmbito mundial. Apesar do investimento nesse tipo de construção ser superior à construção tradicional, obtém-se um retorno rápido por meio da redução dos gastos operacionais durante toda sua vida útil e uma valorização maior no empreendimento.
O Brasil já deu o primeiro passo investindo nesta área da construção, sendo o 4º no ranking mundial de construções verdes. E o fato de ser sede da Copa 2014 impulsiona ainda mais essa nova demanda que destaca o desenvolvimento sustentável em prol da preservação do meio ambiente.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
GREEN BUILDING
REFERÊNCIAS
Documento: Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica; São Paulo, 2007.
Documento: Guia de Sustentabilidade na Construção. Belo Horizonte, FIEMG, 2008. 60p.
http://www.ideia.com.br/construcao_sustentavel.asp; acesso em 17/04/2012
http://www.ciclovivo.com.br; acesso em 17/04/2012
http://www.gbcbrasil.org.br; acesso em 18/04/2012
http://planetasustentavel.abril.com.br; acesso em 10/04/2012
http://www.forumdaconstrucao.com.br; acesso em 22/04/2012
http://www.fiabci.com.br/ws2010/newsletter.asp?id=302; acesso em 23/04/2012
http://www.vanzolini.org.br; acesso em 23/04/2012
http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/1598/construcoes_ja_existentes_tambem_podem_se_tornar_sustentaveis/; acesso em 25/04/2012
http://www.ecoarenas.com/Certificacao_LEED.html; acesso em 27/04/2012
http://www.revistainfra.com.br/textos.asp?codigo=10274; acesso em 27/04/2012
http://www.ciclovivo.com.br/media/relatorio_ciclo_15022011.pdf; acesso em 02/05/2012
http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/162/imprime185685.asp; acesso em 08/05/212
http://www.sustentech.com.br/wordpress/2012/03/leed-ap-saiba-como-tornar-se-um-e-conheca-seus-diferenciais/; acesso em 09/05/2012
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
OBRIGADA!
Nome: Débora Fonseca da Silva
Setor: TE/AE
E-mail: debora.silva@cemig.com.br
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA:
GASEIFICAÇÃO POR PLASMA
Superintendência de
Tecnologia e Alternativas Energéticas
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

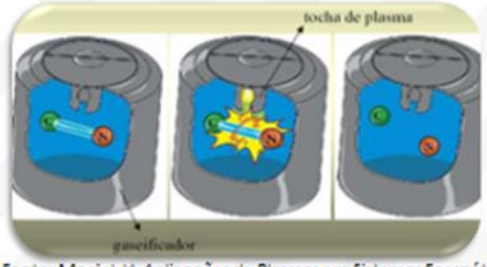

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Estrutura do Trabalho
1. Descritivo Básico
2. O Plasma
3. Componentes de um Sistema de Gaseificação por Plasma
4. Produtos da Conversão via Plasma
5. Principais Aplicações
6. Vantagens
7. Desvantagens
8. Custos da Tecnologia
9. Situação Atual
10. Desafios
11. Tendências Futuras
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

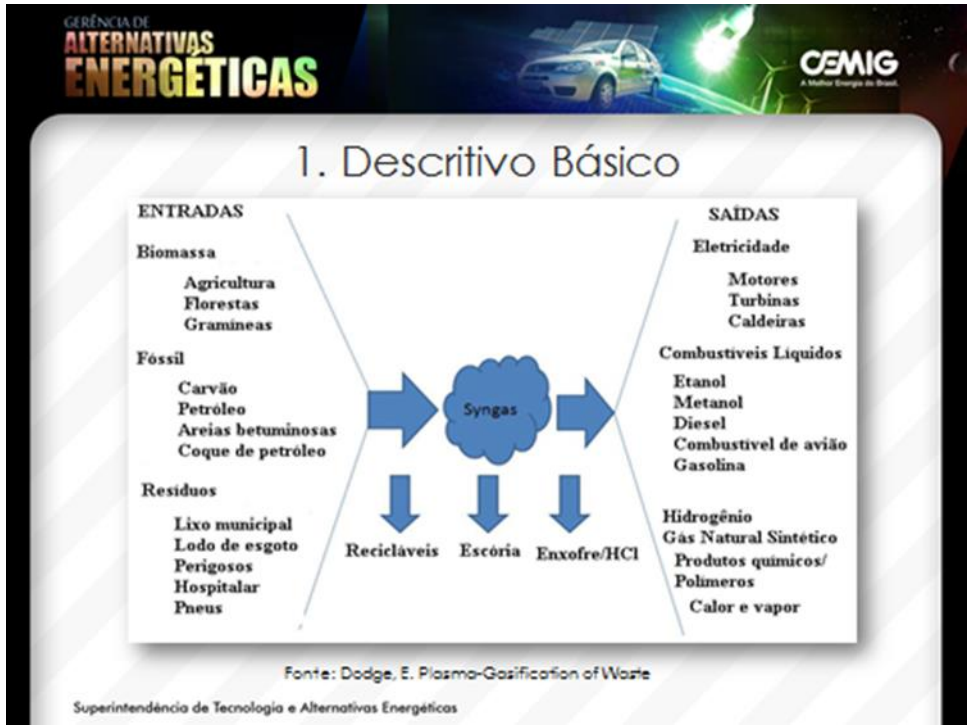
1. Descritivo Básico

- Processo termoquímico que ocorre a altas temperaturas e com baixa injeção de oxigênio.
- Resulta na decomposição do material em suas moléculas mais simples.
- Forma um gás composto por monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H_2) com alto teor de energia ➡ gás de síntese.



Fonte: Maciel, H. *Aplicações de Plasmas em Sistemas Energéticos.*

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
1. Descritivo Básico
ENTRADAS
Biomassa
Agricultura
Florestas
Gramineas
Fóssil
Carvão
Petróleo
Areias betuminosas
Coque de petróleo
Resíduos
Lixo municipal
Lodo de esgoto
Perigosos
Hospitalar
Pneus
Syngas
Recicláveis
Escória
Enxofre/HCl
SAÍDAS
Eletricidade
Motores
Turbinas
Caldeiras
Combustíveis Líquidos
Etanol
Metanol
Diesel
Combustível de avião
Gasolina
Hidrogênio
Gás Natural Sintético
Produtos químicos/
Polímeros
Calor e vapor
Fonte: Dodge, E. Plasma-Gasification of Waste
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

2. O Plasma

- É o quarto estado da matéria.
- Estima-se que 99% de toda matéria conhecida esteja no estado de plasma.
- Sua temperatura é muito elevada, o que causa uma agitação térmica capaz de vencer a força que une o núcleo as suas partículas subatômicas.
- É um gás ionizado.
- Conduz eletricidade.

Fonte: MyBeloJardim

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

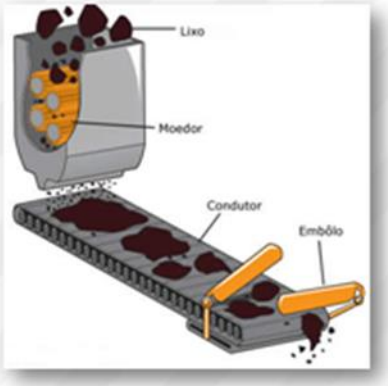
GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

3. Componentes de um sistema de gaseificação por plasma

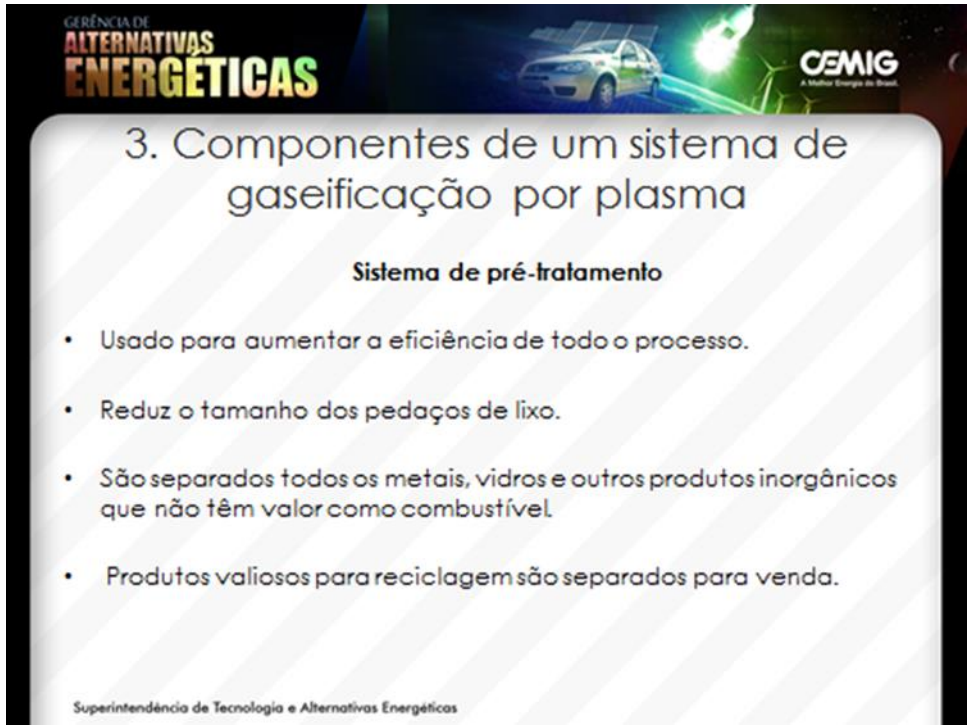
Sistema condutor

- Transporta o material para dentro do gaseificador por plasma ou para o sistema de pré-tratamento, se houver.



Fonte: .HowStuffWorks, *Conversor de Plasma*

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
3. Componentes de um sistema de gaseificação por plasma
Sistema de pré-tratamento
• Usado para aumentar a eficiência de todo o processo.
• Reduz o tamanho dos pedaços de lixo.
• São separados todos os metais, vidros e outros produtos inorgânicos que não têm valor como combustível.
• Produtos valiosos para reciclagem são separados para venda.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

3. Componentes de um sistema de gaseificação por plasma

Gaseificador

- O equipamento exporta 80% da energia inserida para o gás sintetizado

- As altíssimas temperaturas dentro do gaseificador garantem que ocorra a total conversão do material orgânico em gás sintetizado.

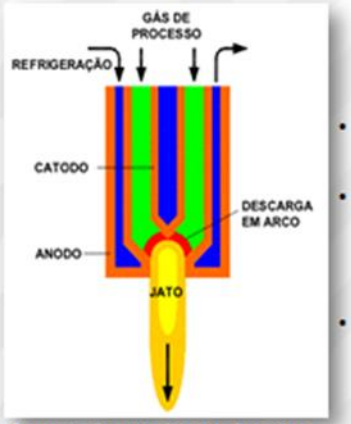
Fonte: Quantum Solutions Technology Ventures Inc. Soluções Inovadoras e Sensíveis Na Transformação de Lixo em Energia

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

3. Componentes de um sistema de gaseificação por plasma



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas - INPE

Tocha de plasma

- É o componente ativo do reator.
- Sua função é transformar energia elétrica em calor transportado por um gás.
- Nesse processo são alcançadas temperaturas altíssimas, da ordem de 15.000° C, embora temperaturas de até 50.000° C sejam obtidas.

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

3. Componentes de um sistema de gaseificação por plasma

Drenagem da escória

- A escória se funde e acumula no fundo do forno.
- Ajuda na manutenção da alta temperatura.
- Tem que ser drenada ocasionalmente.

Fonte: .HowStuffWorks, Conversor de Plasma

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

3. Componentes de um sistema de gaseificação por plasma

- **Ventilação do gás**

Fonte: .HowStuffWorks, *Conversor de Plasma*

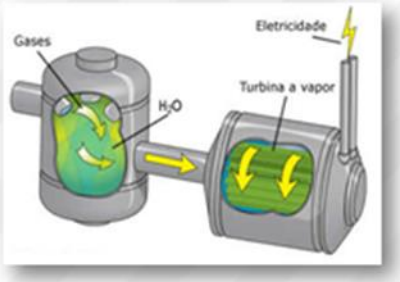
- Permite a passagem dos componentes gaseificados para um dispositivo de pós-combustão ou uma câmara de purificação de gás.

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

3. Componentes de um sistema de gaseificação por plasma



Fonte: .HowStuffWorks, Conversor de Plasma

Pós combustão

- Ocorre a queima do material orgânico que restou nos gases expelidos.
- Um trocador de calor transforma água em vapor.
- A turbina acoplada ao eixo de um gerador produzirá energia elétrica.

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

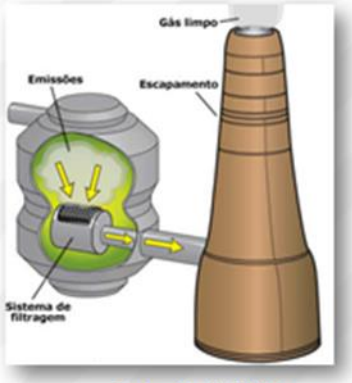
GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

3. Componentes de um sistema de gaseificação por plasma

Purificação do gás de síntese

- Os gases são resfriados e purificados.
- O sistema pode conter ainda uma turbina a gás acoplada a um gerador ou um sistema de aproveitamento de gases para gerar vapor.
- Um sistema de filtragem é usado para outras partículas que apresentam perigo de contaminação ou poluição.



Fonte: .HowStuffWorks, Conversor de Plasma

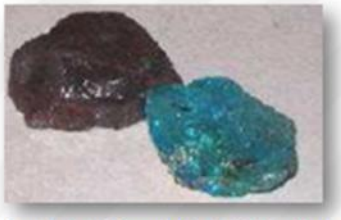
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

4. Produtos de conversão via plasma

- Os constituintes não gasosos, inorgânicos e minerais dos resíduos são convertidos em uma escória vitrificada, compostos de metais e de vidro de sílica.



Fonte: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

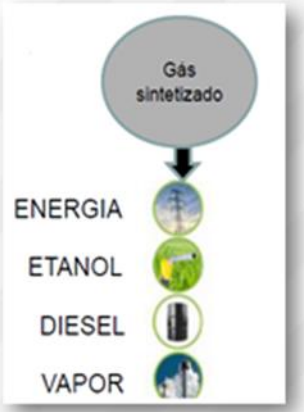
- Este material vitrificado pode ser usado para produzir metais e outros subprodutos, incluindo lã de rocha, ladrilhos ou telhas.

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

5. Principais aplicações

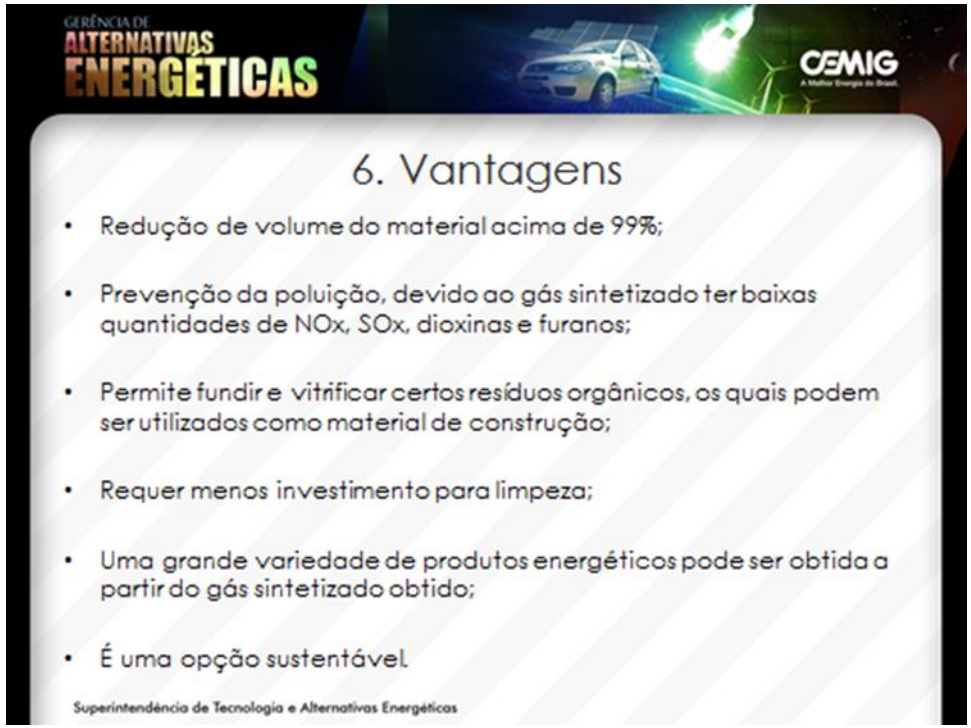


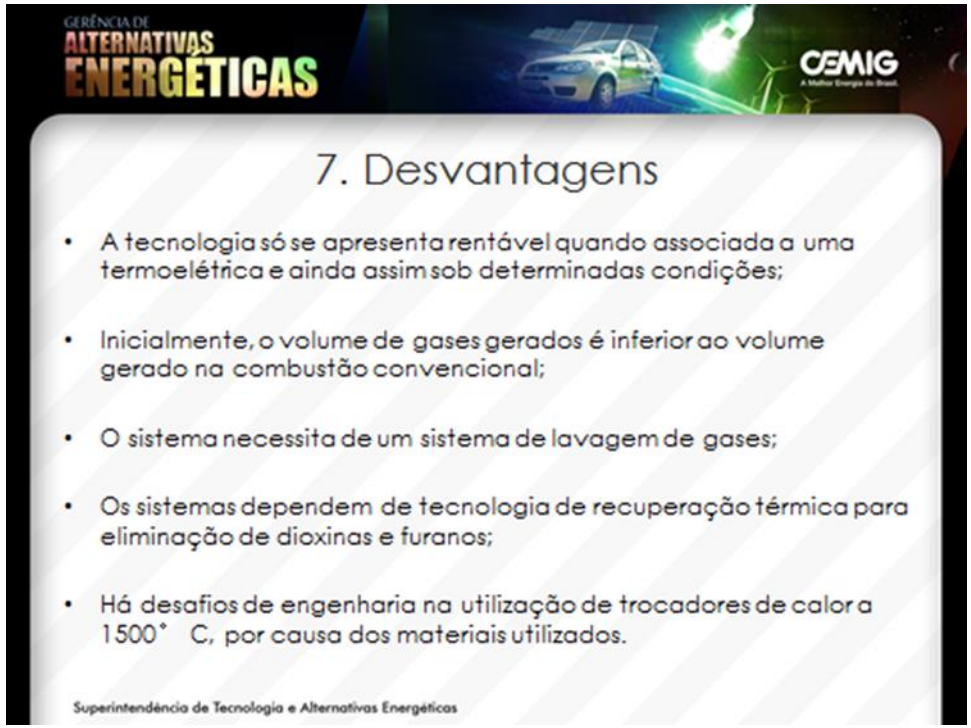
Fonte: GSTV. Soluções Inovadoras e Sensíveis Na Transformação de Lixo em Energia

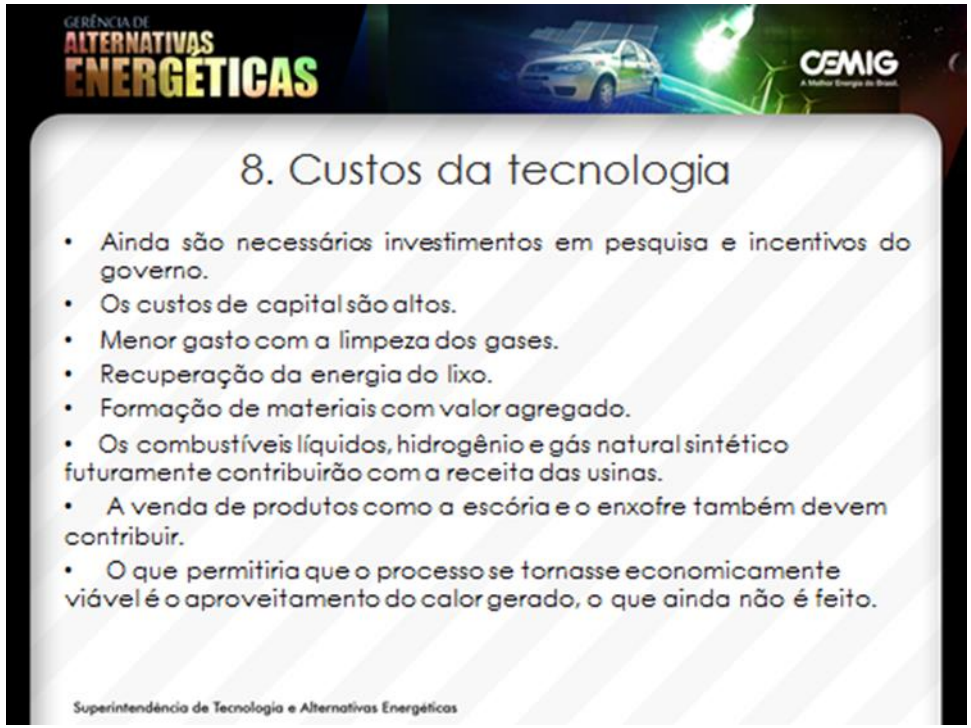
- Produção de energia elétrica ou vapor;
- Combustível em motores a gasolina ou diesel com poucas modificações para o motor quando misturado com ar;
- Pode ser processado para produzir praticamente qualquer tipo de combustível existente atualmente, como propanol, butanol, etanol e etc.
- Refinado em hidrogênio puro e vários produtos químicos.

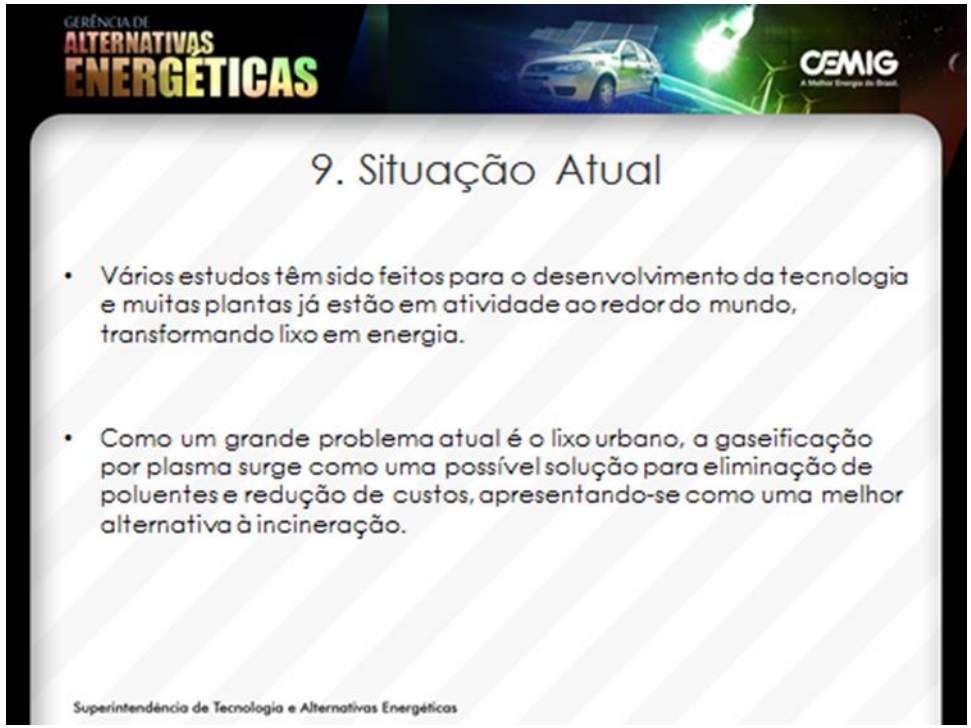
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
5. Principais aplicações
Coleta e Segregação do resíduo
Usina
Venda de energia MWh
Matérias Primas Comercializáveis com inclusão dos catadores
Processo Plasma de Gaseificação
Geração de Energia Elétrica
Fonte: Foratto, G. Novas Teconologias de Gerenciamento de Resíduos..1º Seminário sobre Gestão Ambiental Portuária:
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

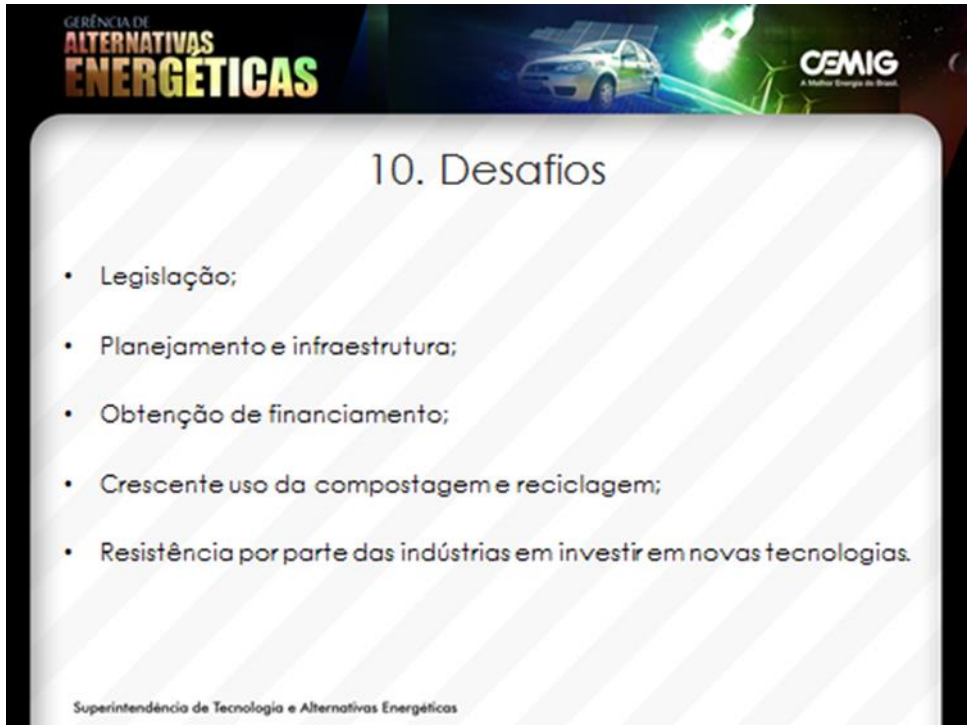

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
6. Vantagens
• Redução de volume do material acima de 99%;
• Prevenção da poluição, devido ao gás sintetizado ter baixas quantidades de NOx, SOx, dioxinas e furanos;
• Permite fundir e vitrificar certos resíduos orgânicos, os quais podem ser utilizados como material de construção;
• Requer menos investimento para limpeza;
• Uma grande variedade de produtos energéticos pode ser obtida a partir do gás sintetizado obtido;
• É uma opção sustentável.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
7. Desvantagens
• A tecnologia só se apresenta rentável quando associada a uma termoelétrica e ainda assim sob determinadas condições;
• Inicialmente, o volume de gases gerados é inferior ao volume gerado na combustão convencional;
• O sistema necessita de um sistema de lavagem de gases;
• Os sistemas dependem de tecnologia de recuperação térmica para eliminação de dioxinas e furanos;
• Há desafios de engenharia na utilização de trocadores de calor a 1500° C, por causa dos materiais utilizados.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
8. Custos da tecnologia
• Ainda são necessários investimentos em pesquisa e incentivos do governo.
• Os custos de capital são altos.
• Menor gasto com a limpeza dos gases.
• Recuperação da energia do lixo.
• Formação de materiais com valor agregado.
• Os combustíveis líquidos, hidrogênio e gás natural sintético futuramente contribuirão com a receita das usinas.
• A venda de produtos como a escória e o enxofre também devem contribuir.
• O que permitiria que o processo se tornasse economicamente viável é o aproveitamento do calor gerado, o que ainda não é feito.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
9. Situação Atual
• Vários estudos têm sido feitos para o desenvolvimento da tecnologia e muitas plantas já estão em atividade ao redor do mundo, transformando lixo em energia.
• Como um grande problema atual é o lixo urbano, a gaseificação por plasma surge como uma possível solução para eliminação de poluentes e redução de custos, apresentando-se como uma melhor alternativa à incineração.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
9. Situação Atual
As 10 maiores plantas de gaseificação por plasma do mundo
Location | Capacity ktpa | Process | Date | Type
SVZ, Germany | 250,000 | Enviroterm BGL | 2001 | Gasification + Melting
Karlsruhe, Germany | 225,000 | Thermoselect | 2001 | Gasification + Melting
Ibaraki, Japan | 135,000 | Nippon Steel | 1980 | Gasification + Melting
Aomori, Japan | 135,000 | Ebara | 2001 | FB gasification + Combustion + Melting
Kawaguchi, Japan | 125,000 | Ebara | 2002 | FB gasification + Combustion + Melting
Toyohashi, Japan | 120,000 | Mitsui | 2002 | Pyrolysis + Combustion + Melting
Akita, Japan | 120,000 | Nippon Steel | 2002 | Gasification + Melting
Oita, Japan | 115,000 | Nippon Steel | 2003 | Gasification + Melting
Chiba, Japan | 100,000 | Thermoselect | 2002 | Gasification + Melting
Hamm, Germany | 100,000 | Technade | 2002 | Pyrolysis + Combustion
Fonte: Dodge, E. Plasma-Gasification of Waste
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
10. Desafios
• Legislação;
• Planejamento e infraestrutura;
• Obtenção de financiamento;
• Crescente uso da compostagem e reciclagem;
• Resistência por parte das indústrias em investir em novas tecnologias.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

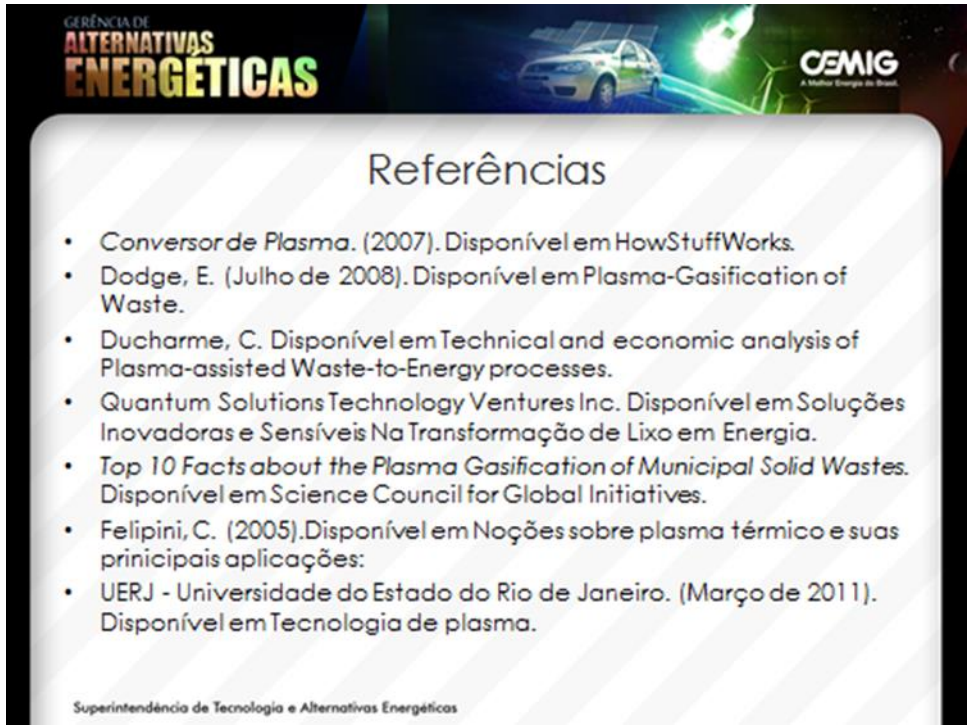
11. Tendências Futuras

- Sistema de gaseificação por plasma portátil para tratar aterros sanitários sem a necessidade de construir uma indústria completa.

- Outra alternativa seria a coabitação da câmara de gaseificação por plasma com uma instalação geradora de energia já existente.

Fonte: .HowStuffWorks, Conversor de Plasma

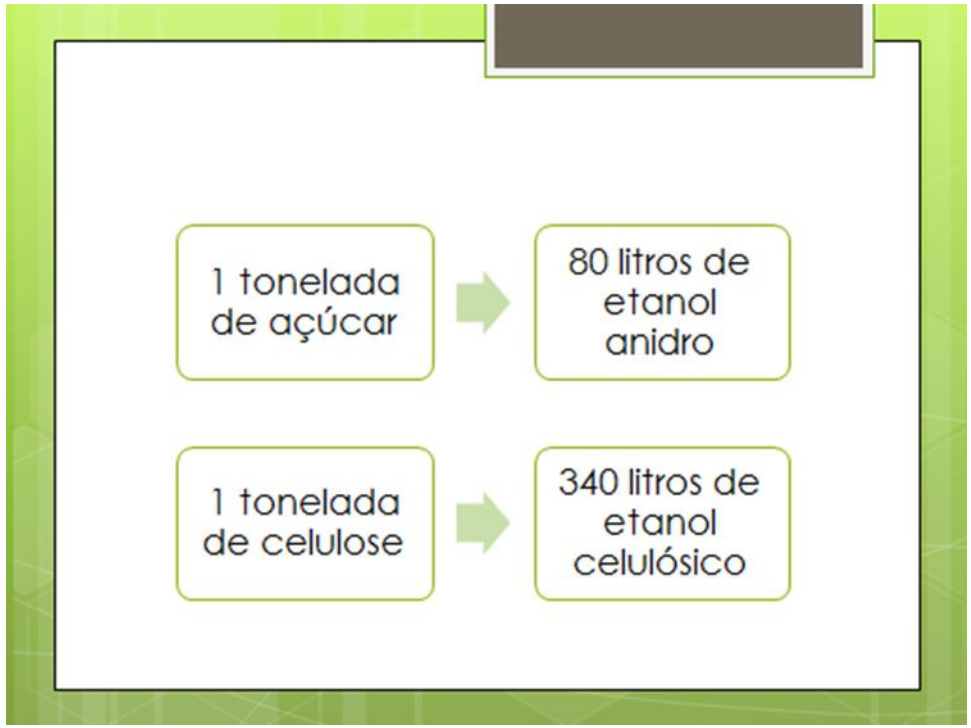
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

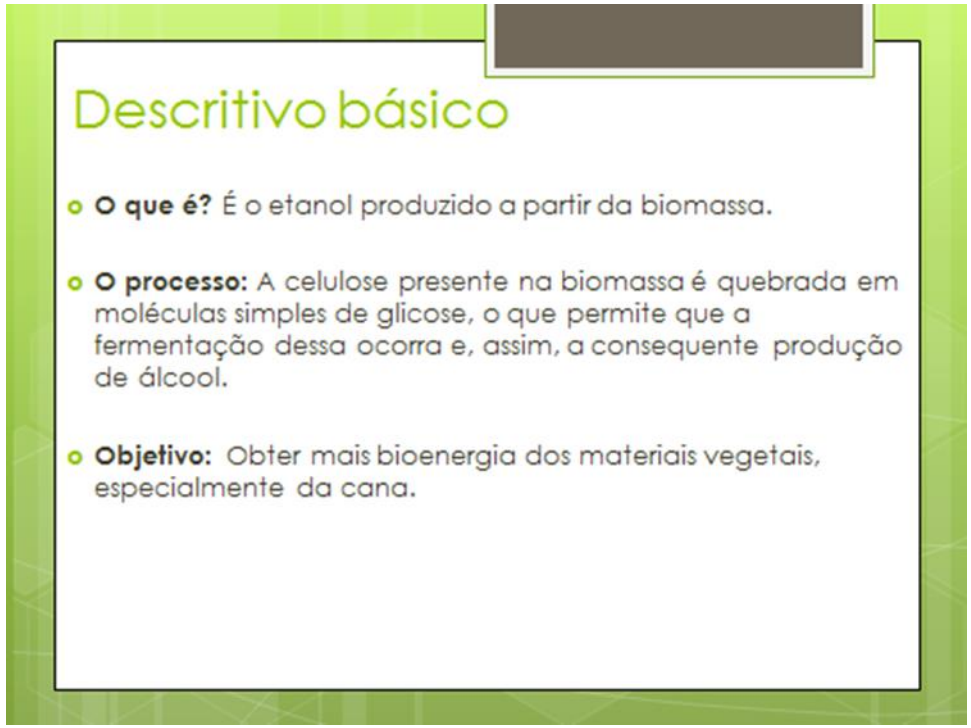

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Referências
• Conversor de Plasma. (2007). Disponível em HowStuffWorks.
• Dodge, E. (Julho de 2008). Disponível em Plasma-Gasification of Waste.
• Ducharme, C. Disponível em Technical and economic analysis of Plasma-assisted Waste-to-Energy processes.
• Quantum Solutions Technology Ventures Inc. Disponível em Soluções Inovadoras e Sensíveis Na Transformação de Lixo em Energia.
• Top 10 Facts about the Plasma Gasification of Municipal Solid Wastes. Disponível em Science Council for Global Initiatives.
• Felipini, C. (2005).Disponível em Noções sobre plasma térmico e suas prinicipais aplicações:
• UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. (Março de 2011). Disponível em Tecnologia de plasma.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

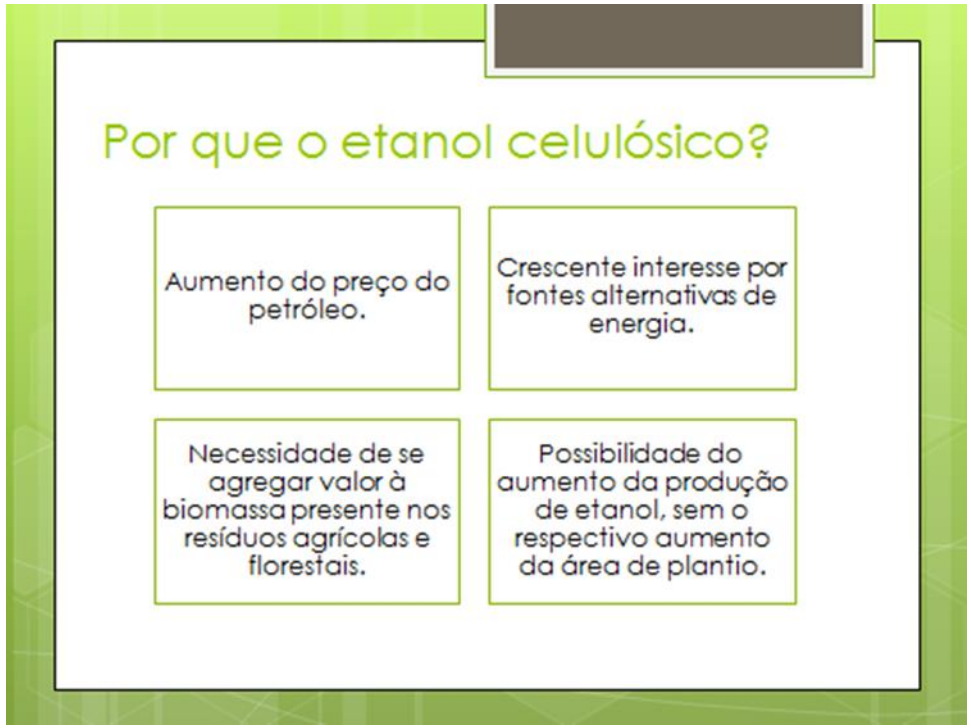
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
OBRIGADA!
Nome: Júnia Roberta de Souza Pereira
Setor: TE/AE
E-mail:
junia.pereira@cemig.com.br
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

Etanol
Celulósico
Biocombustíveis de
Segunda Geração

Biocombustíveis de 2ª geração
Biocombustíveis de 2° geração
Oriundos de materiais lignocelulósicos.
Biocombustíveis de 1° geração
Produzidos de fontes agrícolas primárias.


1 tonelada de açúcar
80 litros de etanol anidro
1 tonelada de celulose
340 litros de etanol celulósico


Descritivo básico
O que é? É o etanol produzido a partir da biomassa.
O processo: A celulose presente na biomassa é quebrada em moléculas simples de glicose, o que permite que a fermentação dessa ocorra e, assim, a consequente produção de álcool.
Objetivo: Obter mais bioenergia dos materiais vegetais, especialmente da cana.


Por que o etanol celulósico?
Aumento do preço do petróleo.
Crescente interesse por fontes alternativas de energia.
Necessidade de se agregar valor à biomassa presente nos resíduos agrícolas e florestais.
Possibilidade do aumento da produção de etanol, sem o respectivo aumento da área de plantio.

Fontes de lignocelulose

CANA-DE-AÚCAR: bagaço e palha
(~100 milhões de t/ano)

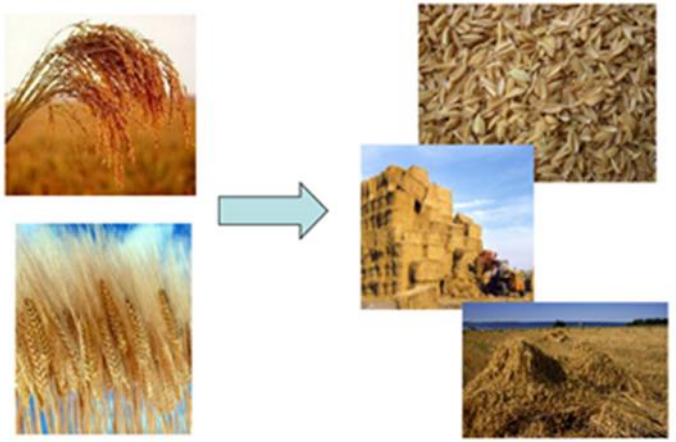
Fontes de lignocelulose

MADEIRA: cavacos, resíduos e casca
(~150 milhões de t/ano)

Fontes de lignocelulose

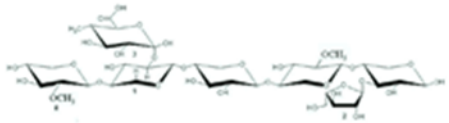
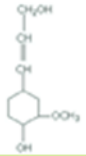
MILHO: sabugo e palha

Fontes de lignocelulose



ARROZ e TRIGO: palha

Caracterização do material lignocelulósico

Composição do material lignocelulósico		
Celulose		40%-50%
Hemicelulose		20%-30%
Lignina		25%-30%

Caracterização do material lignocelulósico
LIGNINA
CELULOSE
HEMICELULOSE
Lignina
Hemicelulose
Celulose
Celulose
• É formada por subunidades de D-glicose, unidas por ligação glicosídica.
Hemicelulose
• É uma estrutura bem mais complexa, por ser constituída por diferentes tipos de pentoses, hexoses e açúcares ácidos unidos entre si.
Lignina
• É associada a parede vegetal, conferindo à planta resistência a ataques microbiológicos e mecânicos, além de rigidez e impermeabilidade.

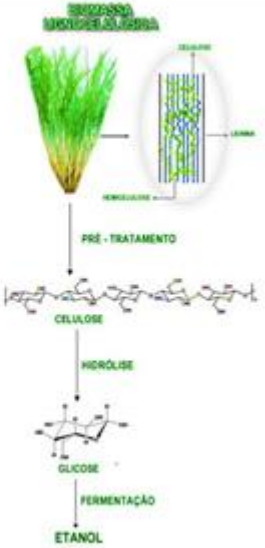
Arquitetura da parede celular vegetal
Parede celular
Célula vegetal
Microfibrila
Hemicelulose
Lignina
Fibrila elementar
Celulose
Glicose

O processo

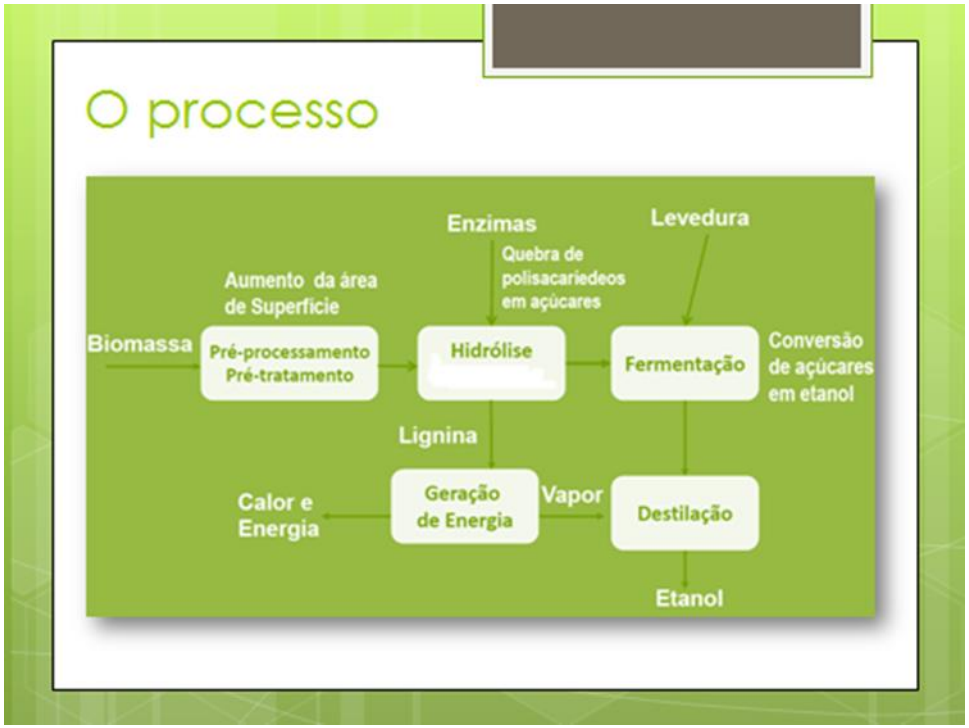
Deslignificação para liberar a celulose e hemicelulose.

Despolimerização da celulose para produzir açúcares livres.

Fermentação da mistura de açúcares hexoses e pentoses para produzir etanol.



Esquema 1. Representação esquemática da produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósica


O processo
Enzimas
Levedura
Quebra de polisacariedeos em açúcares
Aumento da área de Superfície
Biomassa
Pré-processamento Pré-tratamento
Hidrólise
Fermentação
Conversão de açúcares em etanol
Lignina
Calor e Energia
Geração de Energia
Vapor
Destilação
Etanol

Quebra de moléculas para obtenção do álcool
AÇÚCAR
PRONTO PARA USO
NÃO REQUER TRATAMENTO ESPECIAIS
AMIDO
REQUER COZIMENTO E
HIDRÓLISE ENZIMÁTICA
CELULOSE
REQUER PRÉ-TRATAMENTOS E
HIDRÓLISE QUÍMICA E/OU ENZIMÁTICA

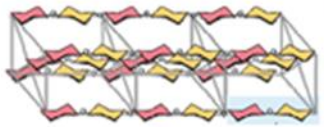
A celulose

Celulose = $(C_6H_{10}O_5)_n$

Polímero mais abundante da superfície terrestre.

Componente de paredes celulares das plantas.

Formado por estruturas de carbono, assim como os combustíveis utilizados.



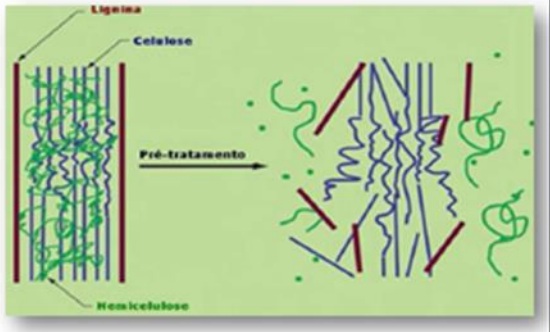
Estabelecimento de pontes de hidrogênio:

- Cristalinidade e estabilidade

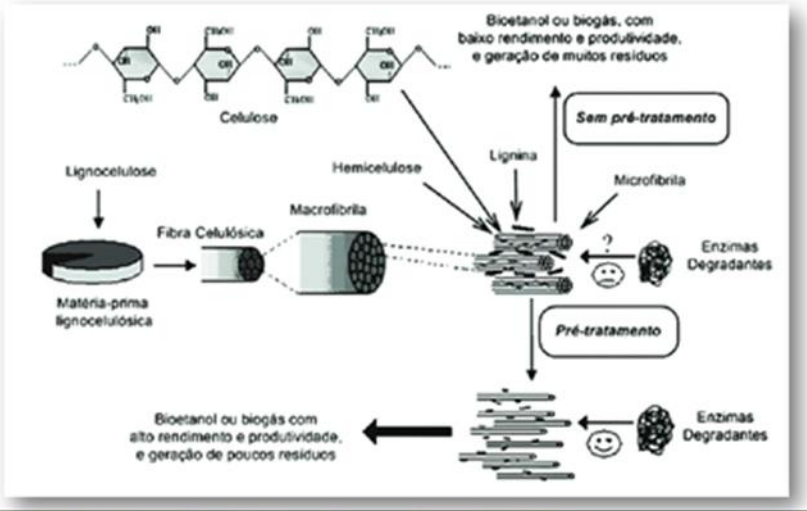
Pré tratamento

- Remoção da lignina;
- Remoção da hemicelulose;
- Redução da cristalinidade da celulose;
- Aumento da porosidade dos materiais.

Tornar a celulose susceptível à hidrólise.



Pré tratamento



Tipos de pré tratamento
Processo
Descrição
Tempo de reação
Rendimento de xilose
Físicos
Explosão de vapor
A biomassa triturada é tratada com vapor (160°-260 °C) seguido de uma rápida descompressão.
1-10 min
45%-65%
Termo-hidrólise
Utiliza água quente a água pressão (pressões acima do ponto de saturação) para hidrolisar a hemicelulose.
30 min
88%-98%
Químicos
Hidrólise ácida
Por meio do uso de ácidos sulfúrico, clorídrico ou nítrico, concentrados ou diluídos.
3-10 min
78%-90%+
Organosolv
Uma mistura de um solvente orgânico (metanol, etanol e acetona, por exemplo) com um catalisador ácido (H_2SO_4,HCl) é usada para quebrar as ligações internas da lignina e da hemicelulose.
40-60 min
70%-80%
Combinados
Explosão de CO_2
Similar explosão de vapor.
75%
Afex (ammonia fiber explosion)
Exposição à amônia líquida a alta temperatura e pressão por certo período de tempo, seguida de uma rápida descompressão.
80%-90%

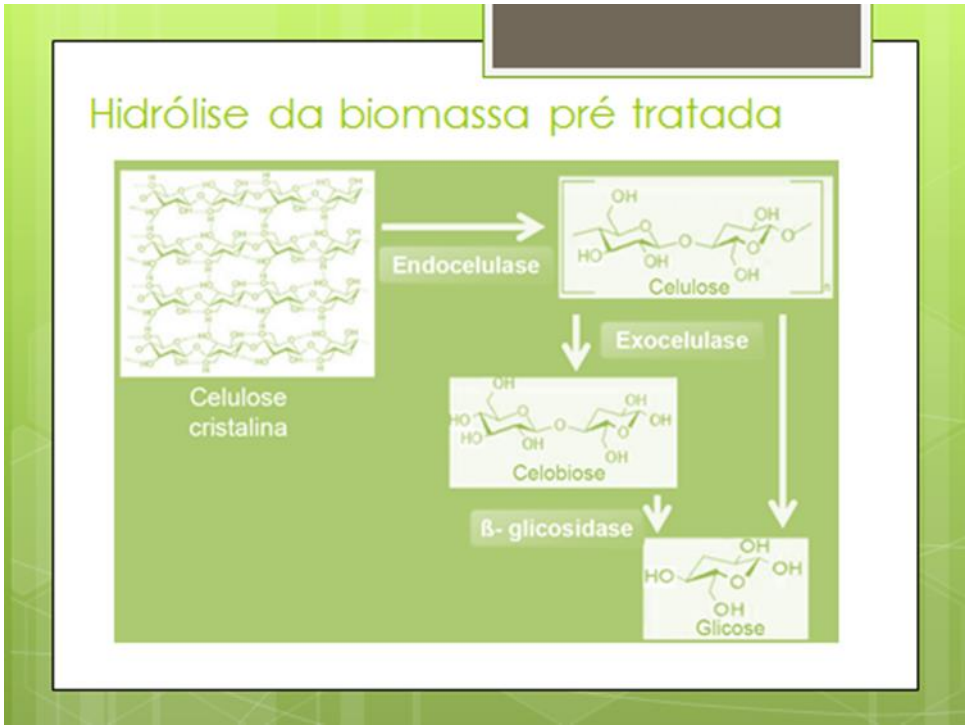
Hidrólise
Objetivo ➡ Obtenção de açúcares fermentescíveis provenientes de materiais lignocelulósicos.
Hidrólise ácida
• Quebra da celulose/hemicelulose por adição de ácido (sulfúrico).
Hidrólise enzimática
• Quebra de celulose/hemicelulose por enzimas.

Enzimas

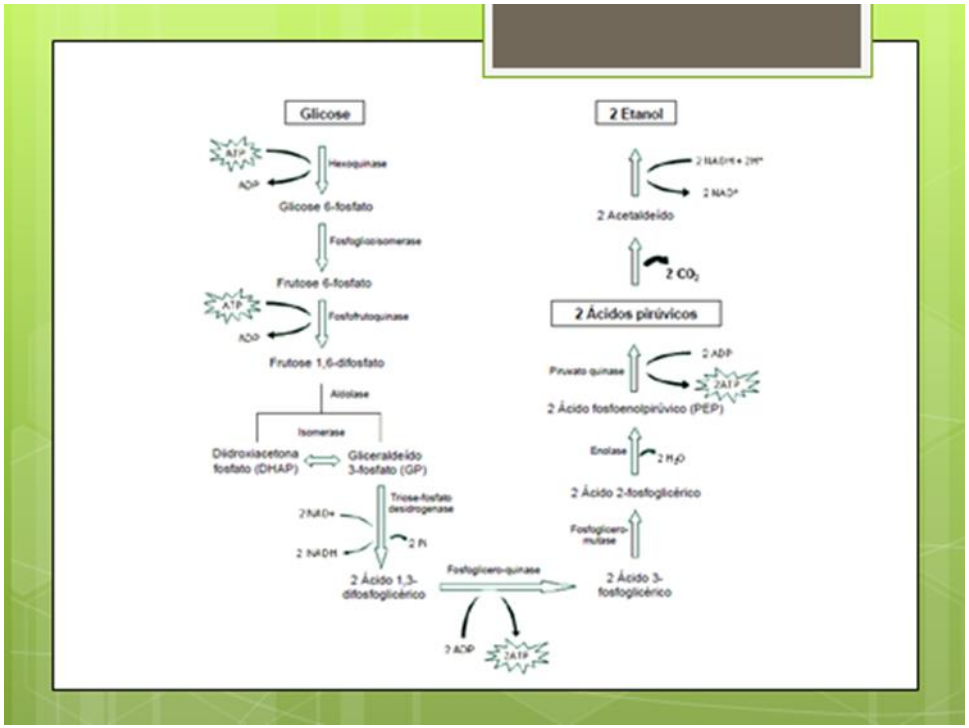
- São **proteínas** que atuam como catalisadores nas reações químicas.
- Catalisador ➡ substância que **acelera** a velocidade de ocorrência de uma certa reação química.

Hidrólise ácida X Hidrólise enzimática
Hidrólise ácida
•O ácido precisa ser muito controlado para evitar reações paralelas indesejáveis.
•Tecnologia mais simples (base científica conhecida).
•Prazo mais curto pra o desenvolvimento da tecnologia.
•Em tese, menores riscos, mas menor retorno.
•Desafio em termos de inovação está centrado no desenvolvimento de equipamentos (com base em materiais mais resistentes à corrosão).
•Necessidade de manutenção genética de microrganismos para produção de enzimas capazes de reduzir etapas e, consequentemente, custos do processo.
•Tecnologia mais complexa (bases científicas da biotecnologia moderna, menos conhecidas).
•Prazo mais longo para o desenvolvimento da tecnologia.
•Possivelmente, maiores riscos, mas também maior retorno.
•Desafio centrado no desenvolvimento de enzimas a custo competitivo.
Hidrólise enzimática

Hidrólise
Hidrólise da celulose
• Produz hexoses (açúcares com moléculas de seis carbonos, como a glicose), que podem ser fermentadas com facilidade.
Hidrólise da hemicelulose
• Conduz à formação de pentoses (cinco carbonos, como a xilose).


Hidrólise da biomassa pré tratada
Celulose cristalina
Endocelulase
Celulose
Exocelulase
Celobiose
ß- glicosidase
Glicose

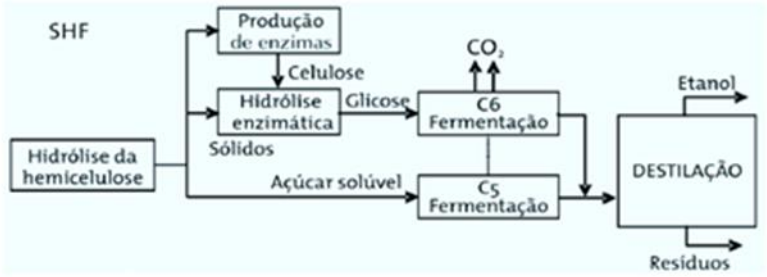
Fermentação do hidrolisado
Transformar a glicose produzida pelos processos de hidrólise em etanol.
$C_6H_{12}O_6$ Fermentação $2\ C_2H_5OH + 2CO_2$
Levedura comum: saccharomyces cerevisiae. Eficiente para açucares C6. Novas Leveduras estão sendo desenvolvidas para lidar com açúcares C5.
Se a quantidade de etanol produzido ultrapassar 12% em volume no meio, a reprodução do fermento (e portanto a conversão do processo) se reduz drasticamente.


Glicose
ATP
ADP
Hexoquinase
Glicose 6-fosfato
Fosfoglicoisomerase
Frutose 6-fosfato
ATP
ADP
Fosfofrutoquinase
Frutose 1,6-difosfato
Aldolase
Isomerase
Diidroxiacetona fosfato (DHAP)
Gliceraldeído 3-fosfato (GP)
2 NAD+
2 NADH
Triose-fosfato desidrogenase
2 Pi
2 Ácido 1,3-difosfoglicérico
Fosfoglicero-quinase
2 ADP
2 ATP
2 Ácido 3-fosfoglicérico
Fosfoglicero-mutase
2 Ácido 2-fosfoglicérico
Enolase
2 H2O
2 Ácido fosfoenolpirúvico (PEP)
Piruvato quinase
2 ADP
2 ATP
2 Ácidos pirúvicos
2 CO2
2 Acetaldeído
2 NADH + 2H+
2 NAD+
2 Etanol

Processos combinados

SHF – Hidrólise e fermentação separados

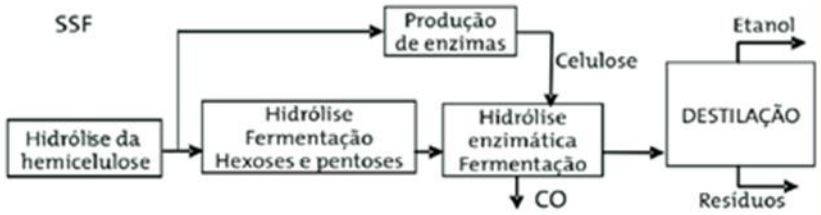
- A hidrólise da celulose e hemicelulose e a subseqüente fermentação da glicose e pentoses, respectivamente, são realizadas em reatores diferentes.



Processos combinados

SSF – Sacarificação e Fermentação Simultânea

- A hidrólise da celulose e a fermentação da glicose são realizadas no mesmo reator, no entanto, a fermentação das pentoses continua se processando em reator separado.



Processos combinados

SSCF – Sacarificação e Cofermentação Simultânea

- Representa um aumento da integração em relação à SSF, já que a fermentação das pentoses e da glicose ocorre no mesmo reator.

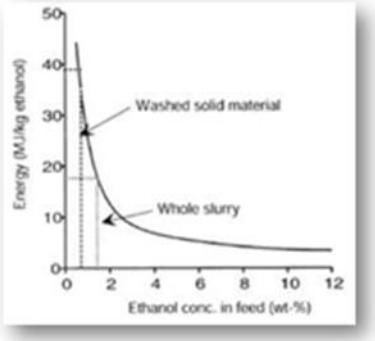
Processos combinados

CBP – Bio Processamento Consolidado

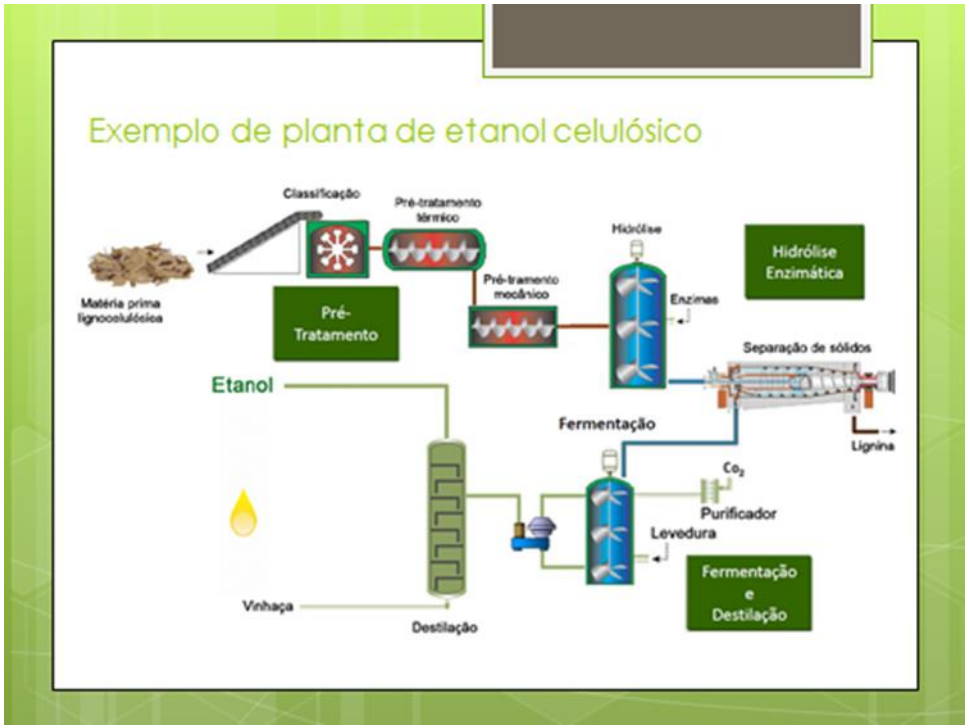
- O máximo de integração é atingido com essa rota, na qual todas as operações de caráter biológico, inclusive a produção de enzimas são realizados simultaneamente.

Destilação

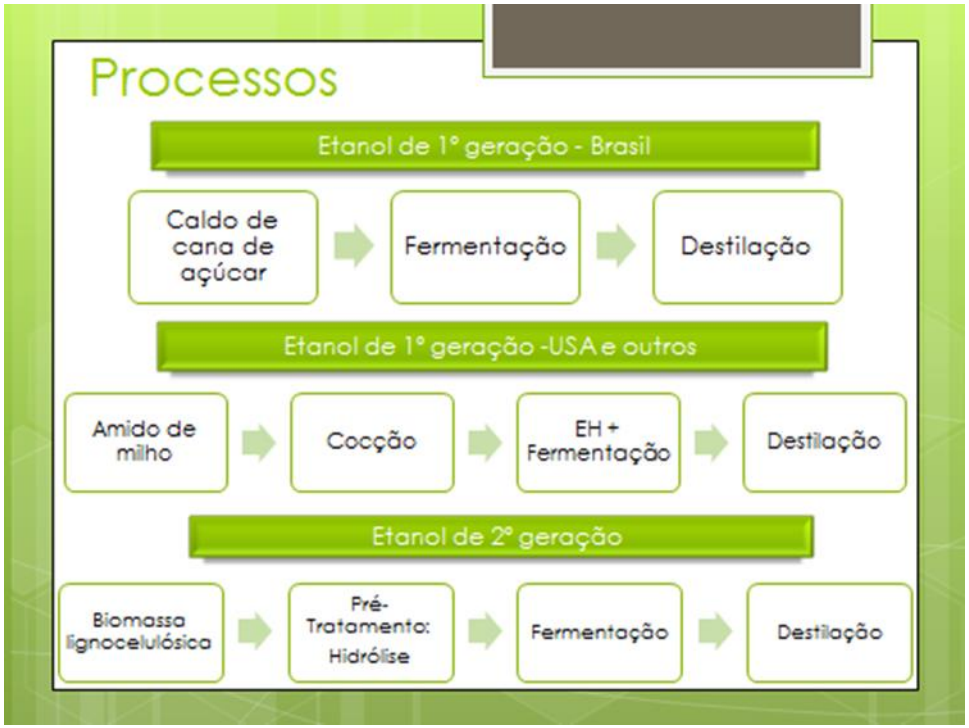
- Utiliza calor para separar a mistura de etanol e água, já que esses possuem diferença de volatilidade.



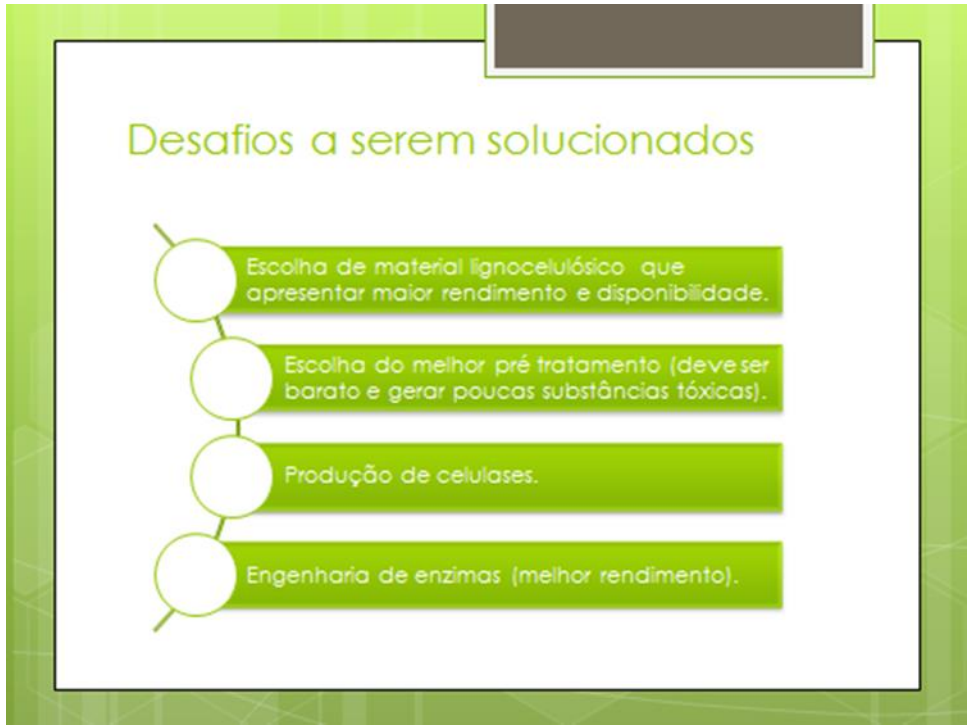
• A destilação industrial é feita em colunas com estágios, que proporcionam enriquecimento do vapor produzido e depleção do destilado.


Exemplo de planta de etanol celulósico
Classificação
Pré-tratamento térmico
Pré-tramento mecânico
Hidrólise
Hidrólise Enzimática
Enzimas
Matéria prima lignocelulósica
Pré-Tratamento
Separação de sólidos
Etanol
Lignina
Fermentação
Co_2
Purificador
Levedura
Fermentação e Destilação
Vinhaça
Destilação

Etanol celulósico a partir da cana


Processos
Etanol de 1° geração - Brasil
Caldo de cana de açúcar
Fermentação
Destilação
Etanol de 1° geração -USA e outros
Amido de milho
Cocção
EH + Fermentação
Destilação
Etanol de 2° geração
Biomassa lignocelulósica
Pré-Tratamento: Hidrólise
Fermentação
Destilação

Custos
Etanol de 1° geração:
Custo: 0,35 R$/l
Etanol de 1° geração:
Custo:0,64 R$/l
Etanol de 2° geração:
Custo estimado (NREL) 1,20 R$/l
Meta : 0,27-0,54 R$/l
Brasil
USA e outros
Mundo


Desafios a serem solucionados
Escolha de material lignocelulósico que apresentar maior rendimento e disponibilidade.
Escolha do melhor pré tratamento (deve ser barato e gerar poucas substâncias tóxicas).
Produção de celulases.
Engenharia de enzimas (melhor rendimento).

Áreas para ganho de produção
Polissacarídeos mais disponíveis
Redução da Lignina
Enzimas de digestão *in planta*
Produção de Matéria-Prima
Açúcares otimizados das plantas
Redução de toxinas
Redução dos custos de MP
Degradação da parede celular
Desenvolvimento de organismos fermentadores
Maiores produtividades de açúcar
Menor custo de capital
Menor custo de enzimas

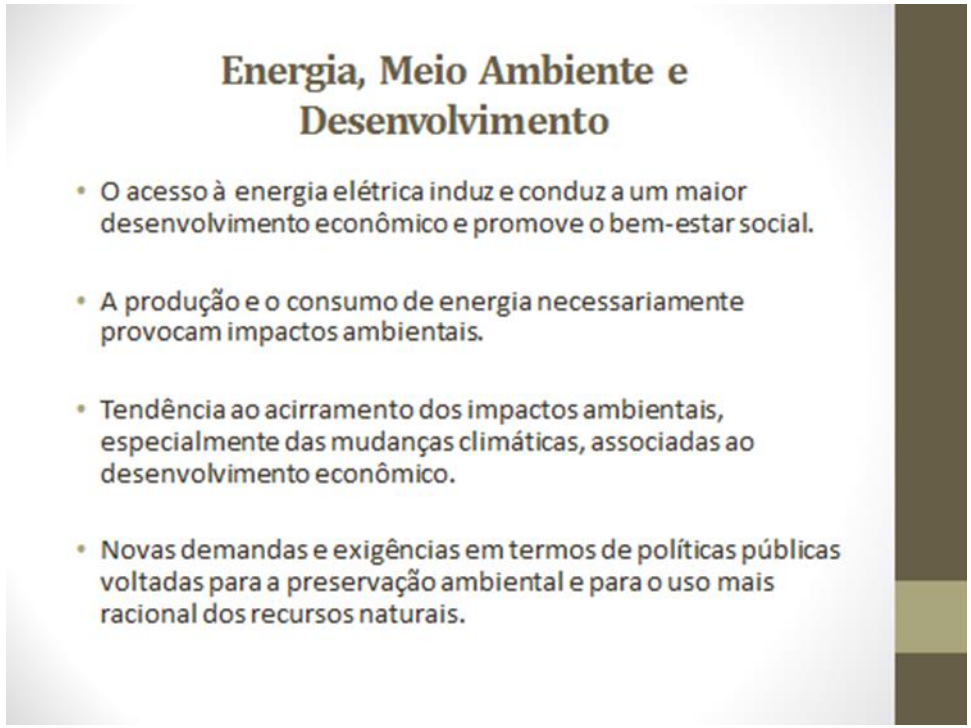
Etanol celulósico

OBRIGADA!
Nome: Júnia Roberta de Souza Pereira
Setor: TE/AE
E-mail: junia.pereira@cemig.com.br

Análise comparativa entre Belo Monte e empreendimentos alternativos: impactos ambientais e competitividade econômica

Introdução

- A construção da central hidroelétrica de Belo Monte tem suscitado muitas críticas e discussões sobre possíveis impactos.
- Os opositores propõem o uso de outras fontes energéticas.
- **Qual o efetivo impacto socioambiental destas fontes alternativas à hidroeletricidade?**
- **Quais seriam as fontes de energia utilizadas para o atendimento da demanda crescente por energia elétrica com competitividade no mínimo equivalente caso não fosse construída a UHE de Belo Monte?**


Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento
• O acesso à energia elétrica induz e conduz a um maior desenvolvimento econômico e promove o bem-estar social.
• A produção e o consumo de energia necessariamente provocam impactos ambientais.
• Tendência ao acirramento dos impactos ambientais, especialmente das mudanças climáticas, associadas ao desenvolvimento econômico.
• Novas demandas e exigências em termos de políticas públicas voltadas para a preservação ambiental e para o uso mais racional dos recursos naturais.

A Usina Hidrelétrica de Belo Monte

- Exigirá um investimento total em entorno de R$ 25 bilhões.
- Desses, cerca de R$ 3,3 bilhões serão destinados aos programas sociais e ambientais propostos.
- A construção da usina apresenta, com base nestas estimativas, um custo de R$ 2.225/kW instalado.
- O custo da energia gerada, incluindo transmissão, é aproximadamente R$ 80 /MWh.
- Isso faz o projeto extremamente competitivo.

A Usina Hidrelétrica de Belo Monte

- Capacidade instalada : 11233 MW
- Fator de capacidade: 40%
- Potência média anual: 4500 MW.

- O baixo fator de capacidade deve-se a:

- i. Redução do reservatório e eliminação da capacidade de regularização das vazões afluentes à barragem de Belo Monte;

- ii. Retirada de outros aproveitamentos na bacia que permitiriam maior regularização das vazões a montante;

- iii. Adoção de um hidrograma mínimo que será mantido, visando assegurar os usos múltiplos da água.

A Usina Hidrelétrica de Belo Monte

- As determinações legais para obtenção da Licença Prévia estão relacionadas a :

- i. Qualidade da água,
- ii. Impactos sobre fauna e flora,
- iii. Saneamento,
- iv. Impactos sobre a população local,
- v. Compensação financeira,
- vi. Recuperação de áreas degradadas e
- vii. Monitoramento de planos e programas socioambientais.

Alternativas a Usina Hidroelétrica de Belo Monte

- Com o crescimento da demanda de energia elétrica, sem Belo Monte, seria necessária a implementação de fontes alternativas que suprissem esta demanda.

- Os opositores a construção de Belo Monte defendem uma dupla estratégia:

- i. Adoção de uma agressiva política de eficiência energética; e
- ii. Investimentos em fontes alternativas e renováveis de energia elétrica.

Alternativas a Usina Hidroelétrica de Belo Monte

- As políticas de eficiência energética são necessárias, mas não suficientes para atender o crescimento anual da demanda de energia elétrica.
- A execução desta política está diretamente associada com a diminuição da emissão de gases de efeito estufa, ganhando mais importância em países onde a participação das energias não renováveis é mais expressiva na matriz elétrica.

Alternativas a Usina Hidroelétrica de Belo Monte

Priorizar as fontes renováveis implicaria em :

- i. Perda de competitividade da econômica brasileira, em função do diferencial de custos destas fontes em relação à hidroeletricidade;
- ii. Enfrentar problemas de garantia e segurança de suprimento em razão da sazonalidade e intermitência destas fontes alternativas.
- Isso deve-se:
- A menor densidade energética se comparadas a hidroeletricidade.
- Ao caráter intermitente e/ou sazonal dessas fontes.
- Imaturidade tecnológica que resulta em maiores custos.

Alternativas a Usina Hidroelétrica de Belo Monte

- Se a Usina de Belo Monte não fosse construída, a construção de usinas termoelétricas seria obrigatória para manter a segurança e o equilíbrio entre a carga e a oferta de energia.

- A opção térmica possui um impacto ambiental quase 8 vezes maior que o custo de mitigação ambiental de Belo Monte.

Análise comparativa entre UHE de Belo Monte e outras fontes energéticas renováveis e não renováveis.

Categorias	Belo Monte	PCH	Eólica	Biomassa	Solar	Gás Natural	Nuclear
Tarifa (R$/MWh)	77,97	135,00	148,00	153,48	500,00	143,00	150,00
Capacidade (em MW)	11.233	8.310 (277 a 334 usinas)	15.240 (10.150 turbinas de 1,5 MW)	9.522	28.000	6.530	5.078
Fator de Capacidade Médio (%)	40,69	55,00	30,00	48,00	16,50	70,00	90,00
Custo de Instalação (R$/kW)	1.700	5.000 a 6.000	3.660 a 4.500	2.175 a 2.745	12.600 a 18.300	1.281 a 1.647	6.400
Custo Total de Instalação (em R$ bilhões)	25,00	41,55 a 49,86	47,80 a 83,60	21,00 a 26,00	355,00 a 507,00	9,00 a 11,00	32,50
Área (km²)*	518	831 a 1.662	2.177 a 3.047	80.000	277	-	-
Emissões Anuais (tCO2/ano)**	-	-	-	-	-	16.156.800	-

Fonte: MME, publicado no Estado de São Paulo - 07/06/2010

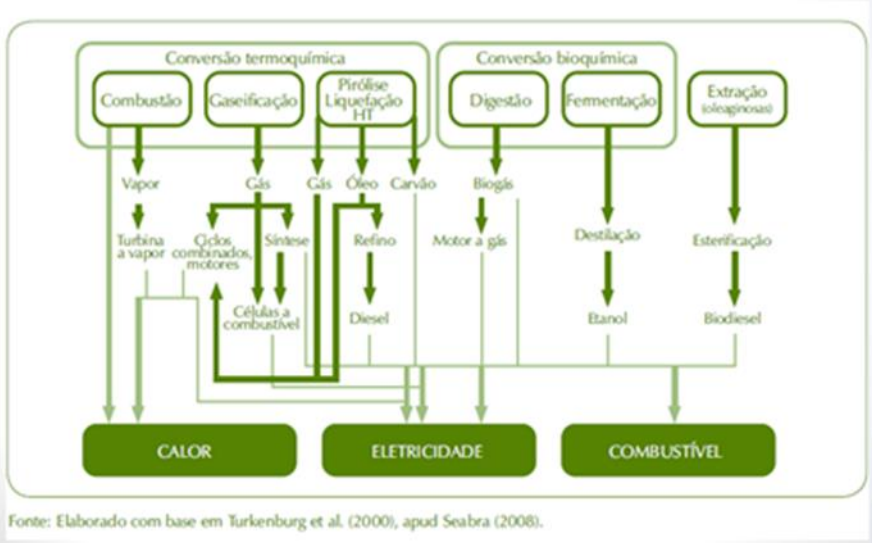
Conclusão

- As políticas de eficiência energética e investimentos em fontes alternativas de energia são incapazes de atender por si só o crescimento da demanda por energia elétrica.
- Os impactos ambientais da Usina de Belo Monte são inferiores aos impactos das alternativas fósseis.
- Os custos das fontes renováveis se mostraram maiores do que de Belo Monte.
- Fica claro que a Usina de Belo Monte possui um menor custo socioambiental.
- No Brasil, levando em conta os dados de Belo Monte, são construídas as unidades de geração de energia elétrica mais competitivas do mundo.

Bioetanol de cana-de-açúcar

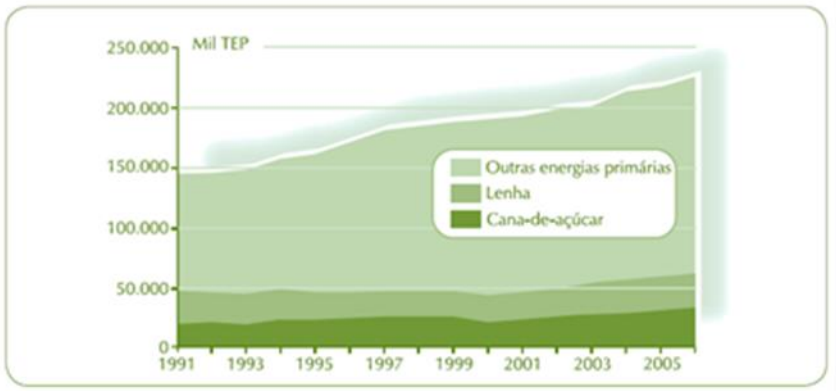
Conceitos
A energia química é a forma de energia fornecida mediante reações químicas, em que acontece uma mudança de composição, por meio da qual reagentes se convertem em produtos, geralmente com liberação de calor.
Um caso particular de energia química é a bioenergia, que pode ser definida como toda e qualquer forma de energia associada a formas de energia química acumulada mediante processos fotossintéticos recentes.
Denomina-se biomassa os recursos naturais que dispõem de bioenergia e que podem ser processados para fornecer formas bioenergéticas mais elaboradas e adequadas para o uso final.

Rotas de conversão da biomassa



Fonte: Elaborado com base em Turkenburg et al. (2000), apud Seabra (2008).

Participação da bioenergia na oferta interna de energia no Brasil



Fonte: MME (2008).

Etanol como combustível veicular

- O etanol apresenta algumas diferenças importantes em relação aos combustíveis convencionais derivados de petróleo.
- A principal delas é o elevado teor de oxigênio.
- As características do etanol possibilitam a combustão mais limpa e o melhor desempenho dos motores, o que contribui para reduzir as emissões poluidoras, mesmo quando misturado à gasolina.

Dimensões técnicas e ambientais do uso do etanol

- O etanol, ou álcool etílico, e uma substância com fórmula molecular C2H6O, que pode ser utilizada como combustível em motores de combustão interna com ignição por centelha (ciclo Otto) de duas maneiras, basicamente:

- 1) em misturas de gasolina e etanol anidro; ou
- 2) como etanol puro, geralmente hidratado.

Propriedades da gasolina e do etanol

Parâmetro	Unidade	Gasolina	Etanol
Poder calorífico inferior	kJ/kg	43.500	28.225
	kJ/litro	32.180	22.350
Densidade	kg/litro	0,72 – 0,78	0,792
Octanagem RON *(Research Octane Number)*	–	90 – 100	102 – 130
Octanagem MON *(Motor Octane Number)*	–	80 – 92	89 – 96
Calor latente de vaporização	kJ/kg	330 – 400	842 – 930
Relação ar/combustível estequiométrica		14,5	9,0
Pressão de vapor	kPa	40 – 65	15 – 17
Temperatura de ignição	grau C	220	420
Solubilidade em água	% em volume	~ 0	100

Fonte: API (1998) e Goldemberg e Macedo (1994).

Propriedades do etanol

- A maior octanagem do etanol permite que os motores obtenham mais energia útil do calor do combustível, comparativamente a gasolina.
- Outras modificações devem ser efetuadas no sistema de alimentação de combustível e na ignição, para compensar as diferenças na relação ar-combustível e em outras propriedades.
- São requeridas modificações em alguns materiais em contato com o combustível, com tratamento anticorrosivo.

Propriedades do etanol

- Quando o etanol é misturado à gasolina, resulta um novo combustível, com algumas características distintas.
- O etanol melhora a octanagem da gasolina-base de maneira sensível.
- Os mesmos fatores que tornam o etanol especialmente apto a ser utilizado em motores por ignição por centelha o fazem pouco atrativo para os motores com ignição por compressão (ciclo Diesel).

Aspectos econômicos e institucionais do etanol combustível

- O preço mínimo do bioetanol para os produtores deve atender a esses dois pressupostos:
- a) cobrir os custos de produção, que, naturalmente, incluem os custos da matéria-prima e a operação da planta de produção, bem como os custos de capital correspondentes aos investimentos produtivos realizados; e
- b) ser igual ou superior aos resultados que seriam obtidos caso a matéria-prima se destinasse a fabricação de produtos alternativos.

Aspectos econômicos e institucionais do etanol combustível

- Duas referências importantes para os preços internacionais do açúcar são:

- a) contratos preferenciais com os Estados Unidos, dentro das quotas estabelecidas pelo Departamento de Agricultura norte-americano, com preços determinados pelos Contratos nº 14 da Junta de Comercio de Nova York, e com a Europa, no âmbito dos acordos ACP; e

- b) contratos livres ou de excedentes, que podem seguir os preços dos Contratos nº 5 da Bolsa de Londres ou os Contratos nº 11 da NYBOT.

Cadeias logísticas para o etanol

- Em muitos países, reconhece-se que o etanol deveria e poderia participar da matriz energética , mas são apontados obstáculos na infraestrutura e carência de recursos na sua superação.

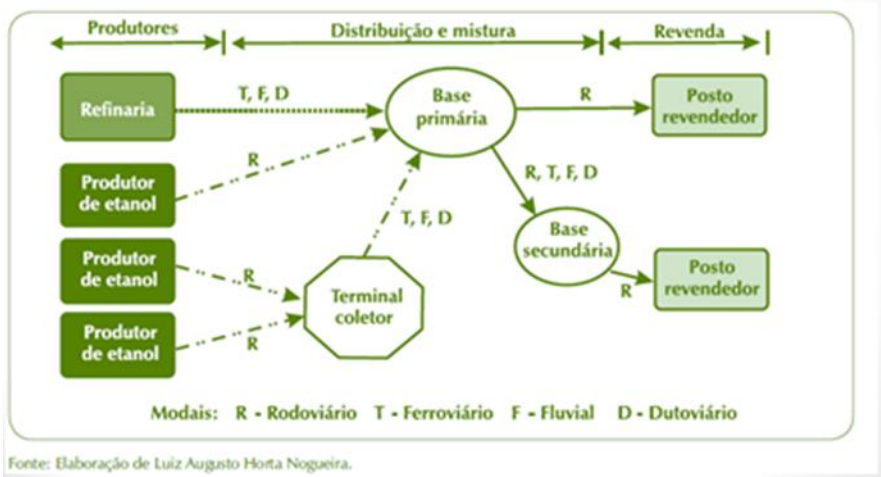
- De modo geral, as condições de transporte e armazenamento do etanol, puro ou misturado a gasolina, não são, essencialmente, diferentes das empregadas com os combustíveis derivados de petróleo.

Cadeias logísticas para o etanol

- Contudo, existem, pelo menos, três fatores particulares e importantes a considerar:

- A sazonalidade da produção de etanol;
- A dispersão espacial dessa produção; e
- A compatibilidade dos materiais dos tanques e tubulações que estarão em contato com o etanol e suas misturas.

Logística da gasolina e do etanol no Brasil



Fonte: Elaboração de Luiz Augusto Horta Nogueira.

Cadeias logísticas para o etanol

- O modelo de operação empregado no Brasil:
- As refinarias produzem gasolina, as usinas produzem bioetanol anidro e as companhias de distribuição de combustíveis preparam a mistura dessas duas correntes.
- Dois fatores fundamentais para o sucesso do bioetanol no Brasil são:
- A ampla cobertura geográfica.
- O elevado número de postos de abastecimento de combustível que comercializam o produto.

Matérias-primas e tecnologias de produção do bioetanol

- A produção de biocombustíveis com base em matérias-primas vegetais pode ser efetuada por distintas rotas tecnológicas, com diferentes vantagens e limitações.
- Mediante rotas biológicas, o bioetanol pode ser produzido com base em qualquer biomassa que contenha quantidades significativas de amido ou açúcares.
- Hoje em dia, há um leve predomínio da produção com base em materiais amiláceos.

Matérias-primas e tecnologias de produção do bioetanol

- A tecnologia de conversão geralmente começa com a separação, a limpeza e a moagem do grão.
- O amido é tipicamente convertido em açúcares por meio de um processo enzimático a altas temperaturas.
- Os açúcares liberados são, então, fermentados por leveduras, e o vinho resultante é destilado para a purificação do bioetanol.
- Além do bioetanol, esses processos envolvem, geralmente, diversos coprodutos, que variam conforme a biomassa utilizada.

Quadro geral dos biocombustíveis

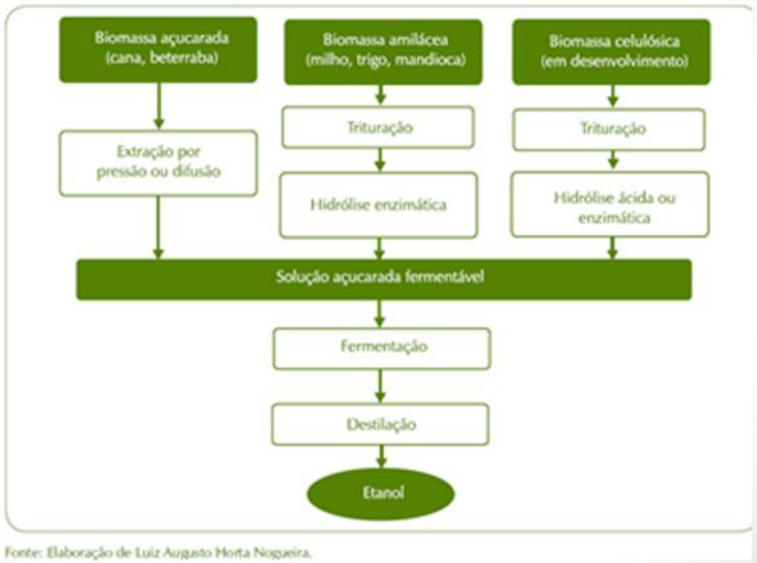
Biocombustível	Matéria-prima	Redução na emissão de gases de efeito estufa	Custo de produção	Produção de biocombustível por hectare	Terras utilizadas
Bioetanol	Grãos (trigo, milho)	Moderado a baixo	Moderado	Moderado	Terras férteis
Bioetanol	Cana-de-açúcar	Alto	Baixo	Alto	Terras férteis
Biodiesel	Óleos de sementes (canola, soja etc.)	Moderado	Moderado	Baixo	Terras férteis
Biodiesel	Óleo de palma	Moderado	Moderado a baixo	Moderado	Terras litorâneas e úmidas

Fonte: Adaptado de IEA (2005).

Matérias-primas e tecnologias de produção do bioetanol

- Considerando a produção com base em açúcares o processo é mais simples e envolve uma etapa a menos, já que os açúcares estão disponíveis na biomassa.
- Normalmente, o processo se baseia na extração dos açúcares (por meio da moagem ou da difusão), que podem seguir diretamente para a fermentação.
- Após a fermentação, o vinho resultante é destilado.
- A produção de bioetanol utilizando celulose ainda está em nível de laboratório e plantas-piloto, ainda sem significado real no contexto energético, com obstáculos tecnológicos e econômicos por superar.

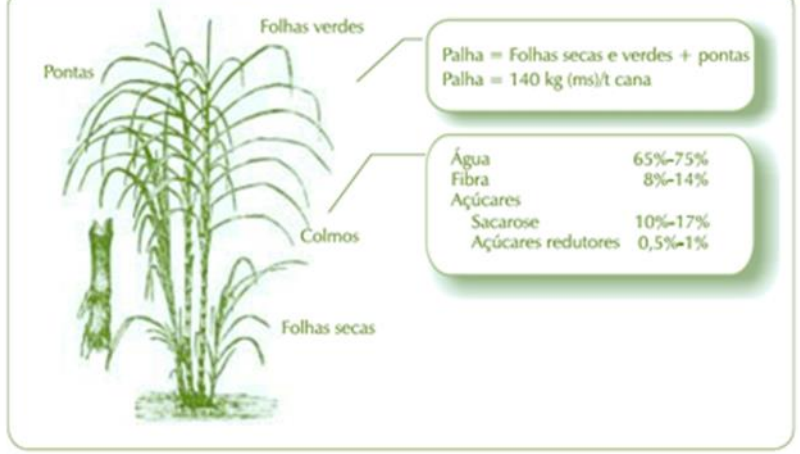
Rotas tecnológicas para produção de etanol



Fonte: Elaboração de Luiz Augusto Horta Nogueira.

Bioetanol de cana-de-açúcar

Estrutura típica da biomassa da cana



Fonte: Seabra (2008).

Bioetanol de cana-de-açúcar

- O clima ideal para o cultivo da cana é aquele que apresenta duas estações distintas:
- Uma quente e úmida, para proporcionar a germinação, o perfilhamento (formação de brotos) e o desenvolvimento vegetativo.
- Outra fria e seca, para promover a maturação e o acúmulo de sacarose nos colmos.

Bioetanol de cana-de-açúcar

- No Brasil, o ciclo completo da cana é , geralmente, de 6 anos, dentro do qual ocorrem cinco cortes, quatro tratos de soqueiras e uma reforma.
- As áreas de produção devem estar subdivididas em talhões em diferentes etapas do ciclo, correspondendo, para um ciclo de seis anos, a cerca de um sexto da área total para cada etapa.
- O período de colheita da cana varia de acordo com o regime de chuvas.

Bioetanol de cana-de-açúcar

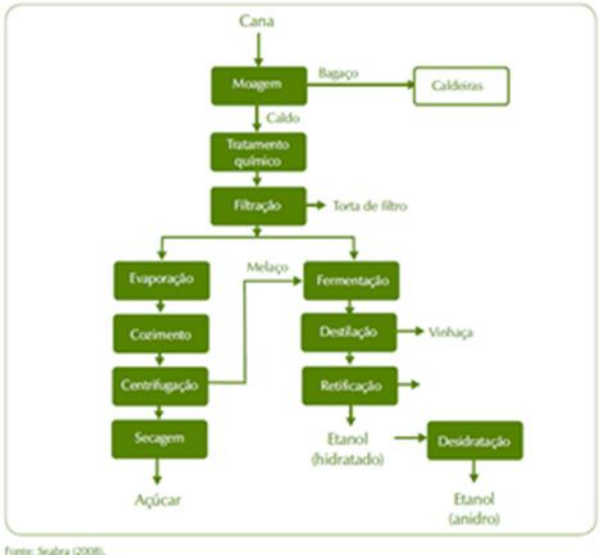
- Após o corte, a cana é transportada o mais cedo possível para a usina, a fim de evitar perdas de sacarose.
- A logística da cana, envolvendo as operações integradas de corte, carregamento e transporte, vem passando por uma contínua evolução, com a finalidade de reduzir os custos e diminuir o nível de compactação do solo.
- A cana não pode ser armazenada por mais do que poucos dias e, independentemente do tipo de instalação, as usinas só operam durante o período de safra.

Distribuição das 350 usinas de processamento de cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: CGEE (2006).

Bioetanol de cana-de-açúcar
Uma vez na usina, a cana, em geral, é lavada (somente a cana inteira) e segue para o sistema de preparo e extração.
A extração do caldo se realiza sob pressão de rolos, montados em conjuntos com quatro a seis sucessivos ternos de moenda.
No conjunto de rolos de moenda, o caldo, que contém a sacarose, é separado da fibra (bagaço), que segue para a planta de energia da usina, na qual é usada como combustível.
Nos difusores, a cana picada e desfibrada passa por sucessivas lavagens com água quente, extraindo por lixiviação seus açúcares, e, ao final, passa por um rolo de secagem, do onde sai o bagaço a ser utilizado nas caldeiras.
Produzido na moenda ou no difusor, o caldo contendo os açúcares da cana pode, então, ser destinado à produção de açúcar ou bioetanol.

Diagrama de fluxo da produção de açúcar e bioetanol de cana



Fonte: Seabra (2008).

Produção de açúcar

Demanda de energia no processamento da cana

Energia	Unidade	Açúcar	Bioetanol hidratado	Bioetanol anidro
Térmica Como vapor saturado a 1,5 bar (manométrico), para aquecedores, evaporadores e destilaria	kg/tc	470-500	370-410	500-580
Mecânica Acionamento dos sistemas de preparo e moagem da cana e motobombas	kWh/tc	16	16	16
Elétrica Motores elétricos diversos, iluminação e outras cargas	kWh/tc	12	12	12

Fonte: Pizaia (1998).

Bioetanol de cana-de-açúcar

- No caso da agroindústria de bioetanol com base na cana, a totalidade da energia consumida no processo pode ser provida por um sistema de produção combinada de calor e potência (sistema de cogeração) instalado na própria usina, utilizando apenas bagaço como fonte de energia.

Perdas e rendimentos médios das usinas de cana

Item	Perda de açúcar ou rendimento
Lavagem da cana	0,7%
Extração	3,9%
Torta de filtro	0,5%
Indeterminada	3,5%
Destilação	0,2%
Rendimento fermentativo	90,0%
Rendimento global	
Açúcar	100 kg/t cana (+ 23 litros/t cana)
Bioetanol hidratado	86 litros/t cana

Fonte: Valores adaptados de CTC (2005).

Bioetanol de cana-de-açúcar

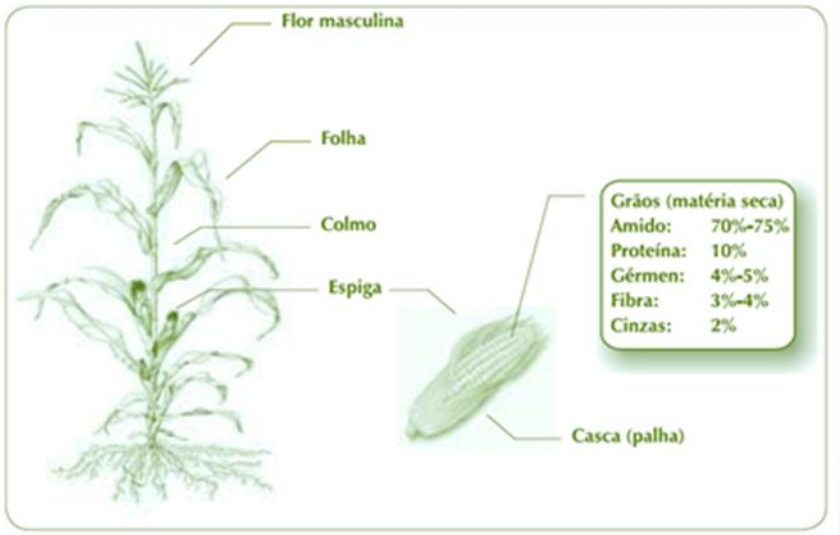
- Utilizando-se uma tonelada de cana:

- Para produção exclusiva de açúcar
- 100kg de açúcar+ 20 litros de etanol (melaço)

- Para produção exclusiva de bioetanol
- 86 litros de bioetanol hidratado

As sinergias e complementaridades possíveis entre a produção de açúcar e bioetanol ajudam na redução de custos e no incremento da eficiência dos processos agroindustriais.

Bioetanol de milho



Fonte: Sealbra (2008).

Bioetanol de milho

- Constitui um importante componente da oferta de alimentos em vários países, como alimento humano e animal.
- Os Estados Unidos lideram a produção de milho em todo o mundo e respondem por quase metade do volume produzido.
- Comparado com a cana, o milho demanda uma quantidade significativamente maior de fertilizantes.

Bioetanol de milho

- O bioetanol pode ser produzido de milho por meio de dois processos, adotando moagem úmida ou seca.
- No processo úmido, as diferentes frações do grão do milho são separadas, possibilitando a recuperação de diversos produtos, como proteínas, nutrientes, gás carbônico amido e óleo de milho.
- Enquanto o óleo de milho é o produto mais valioso, o amido (e, por conseguinte, o bioetanol) é aquele produzido em maior volume, com rendimentos ao redor de 440 litros de bioetanol por tonelada seca de milho.

Bioetanol de milho

Diagrama de fluxo do processo via úmida para a produção de bioetanol de milho

Fonte: Wyman (1996).

Bioetanol de milho

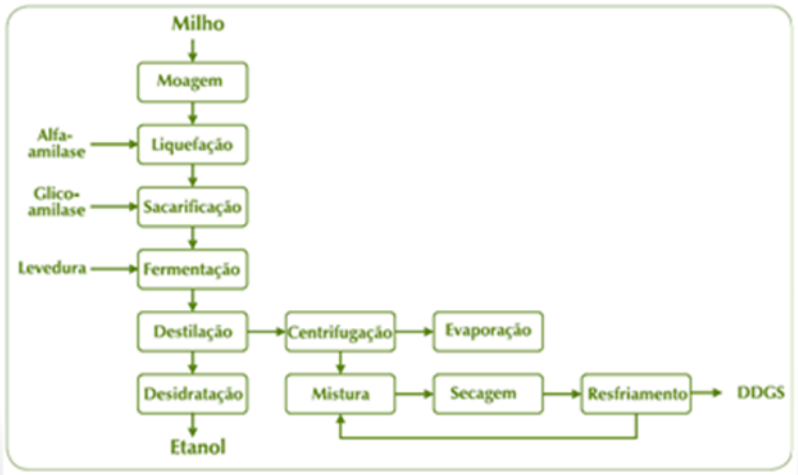
- Já no caso da via seca, o único coproduto do bioetanol é um suplemento protéico para alimentação animal conhecido como DDGS (*distillers dried grains with solubles*).

- Nesse processo, o grão de milho moído é adicionado de água e enzimas a fim de promover a hidrólise do amido em cadeias menores de açúcar.

- Na etapa seguinte, essas cadeias são sacarificadas pela ação da glico-amilase e a solução resultante segue para a fermentação.

Bioetanol de milho

Diagrama de fluxo do processo via seca para a produção de bioetanol de milho



Fonte: Wyman (1996).

Bioetanol de outras matérias-primas

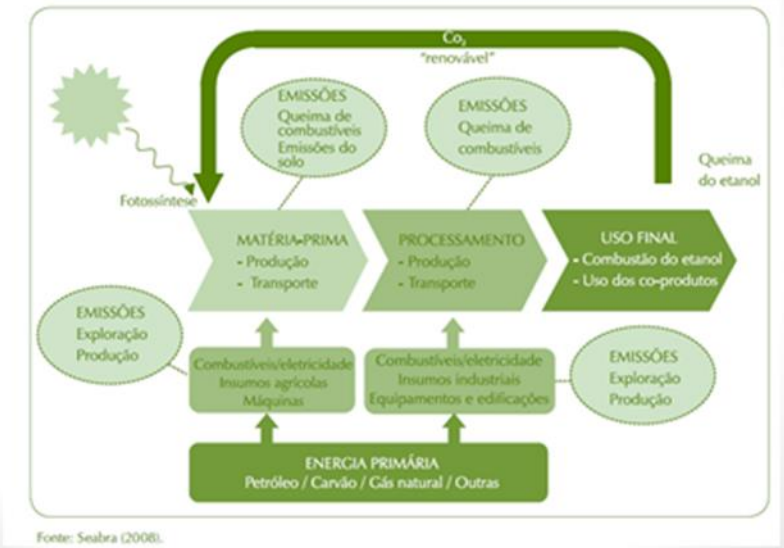
- Em algumas países utilizam-se cultivos como a mandioca, trigo e beterraba açucareira, assim como as possibilidades do sorgo sacarino.
- Na seleção de um cultivo como fonte de matéria-prima para a fabricação de bioetanol, é imperativo considerar os pressupostos de eficiência, em um sentido amplo.
- Assim, cabe priorizar os cultivos que minimizem os requerimentos de terra, água e aportes externos de agroquímicos, entre outros aspectos.
- Além disso (e igualmente relevante), a viabilidade econômica deve ser levada em conta, havendo pouco sentido em propor o uso de cultivos nobres e de bom valor de mercado como fonte de bioenergia.

Bioetanol de outras matérias-primas

- A matéria-prima representa entre 60% e 70% do custo final do bioetanol e a busca de alternativas de baixo custo é fundamental.

- A existência de coprodutos e subprodutos, de valor alimentício, industrial ou energético, é importante, na medida em que pode conferir uma desejável flexibilidade na produção bioenergética, associando a disponibilidade de biocombustíveis a outras fontes de valor econômico.

Diagrama do ciclo de vida de um combustível



Fonte: Seabra (2008).

Produtividades, emissões e balanço energético

Balanço de energia na produção de bioetanol de cana (MJ/tc)

Componente do balanço energético	2005/2006	Cenário 2020
Produção e transporte de cana	210,2	238,0
Produção do bioetanol	23,6	24,0
Input fóssil (total)	233,8	262,0
Bioetanol	1.926,0	2.060,0
Excedente de bagaço	176,0	0,0
Excedente de eletricidade	82,8	972,0
Output renovável (total)	2.185,0	3.032,0
Produção/consumo energético		
Bioetanol + bagaço	9,0	7,9
Bioetanol + bagaço + eletricidade	9,3	11,6

Fonte: Macedo et al. (2008).

Produtividades, emissões e balanço energético

Emissões na produção do bioetanol de cana (kg CO_2eq/m³)

	2005/2006		Cenário 2020	
Bioetanol	Hidratado	Anidro	Hidratado	Anidro
Emissão total	417	436	330	345
Combustíveis fósseis	201	210	210	219
Queimadas	80	84	0	0
Solo	136	143	120	126

Fonte: Macedo et al. (2008).

Produtividades, emissões e balanço energético

Comparação das diferentes matérias-primas para a produção de bioetanol

Matéria-prima	Relação de energia	Emissões evitadas
Cana	9,3	89%
Milho	0,6 – 2,0	-30% a 38%
Trigo	0,97 – 1,11	19% a 47%
Beterraba	1,2 – 1,8	35% a 56%
Mandioca	1,6 – 1,7	63%
Resíduos lignocelulósicos*	8,3 – 8,4	66% a 73%

Fonte: Elaborado com base em Dai et al. (2006), EBAMM (2005), IEA (2004), Macedo et al. (2007) e Nguyen et al. (2007).
*Estimativa teórica, processo em desenvolvimento.

Bioeletricidade

- Na cana, cerca de um terço da energia solar absorvida é fixada como açúcar, enquanto o restante corresponde à fibra vegetal, composta de celulose, hemicelulose e lignina, que constituem o bagaço e a palha.

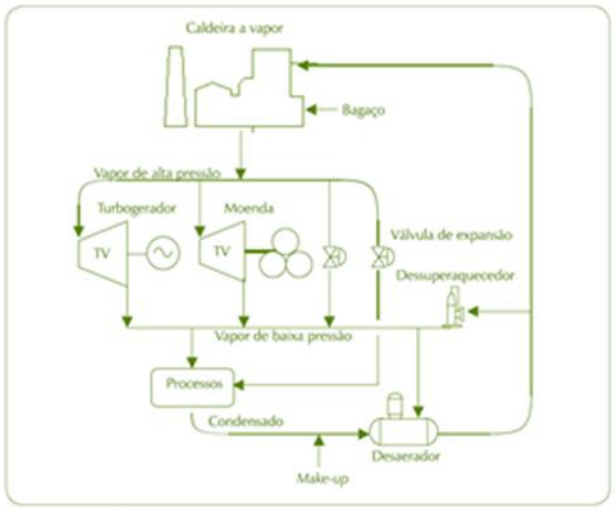
- O uso desses biocombustíveis apresenta crescente interesse, com o bagaço sendo empregado como fonte de energia, especialmente na agroindústria canavieira.

Bioeletricidade

- No processamento industrial da cana são necessários três tipos de energia: energia térmica, energia mecânica e energia elétrica.
- Cogeração: representa um diferencial importante da cana em relação às outras matérias-primas usadas na fabricação de açúcar ou etanol.
- Em síntese, utilizando o calor liberado pela combustão do bagaço nas caldeiras, produz-se vapor de alta pressão, utilizado em turbinas a vapor para geração elétrica e acionamentos mecânicos, cujo vapor de escape, a baixa pressão, atende aos usos térmicos.

Bioeletricidade

Configuração usual do sistema de co-geração na agroindústria canavieira



Fonte: Seabra (2008).

Bioeletricidade

- Praticamente sem variar a quantidade de combustível, é possível aumentar a produção de energia elétrica na agroindústria canavieira adotando caldeiras e turbinas que operem com vapor a pressões e temperaturas mais elevadas.

- Como fatores importantes de estímulo à geração de energia elétrica no contexto canavieiro, destacam-se:

- A demanda por maior eficiência e menor impacto ambiental no setor energético;
- A evolução do marco regulatório do setor elétrico;
- O desenvolvimento de tecnologias para o controle dos sistemas de cogeração de médio porte.

Bioeletricidade

- As condições do vapor afetam diretamente a geração de excedentes energéticos nas usinas de açúcar e bioetanol.

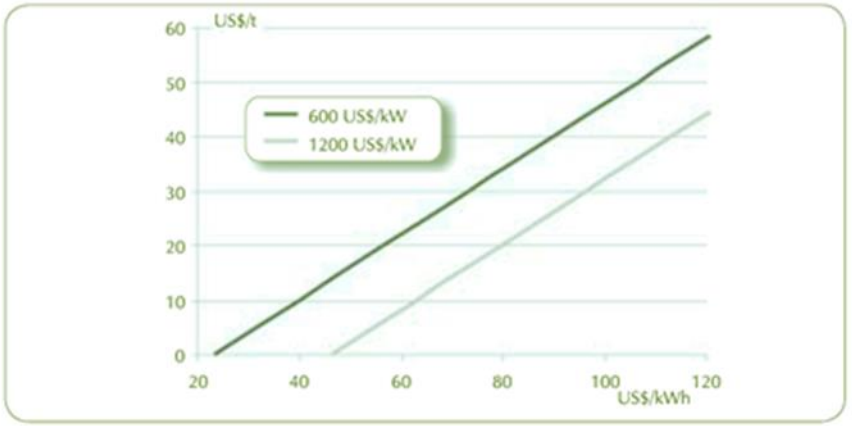
Energia elétrica e bagaço excedente em sistemas de co-geração na agroindústria canavieira

Parâmetros do sistema de co-geração	Consumo de vapor de processo	Período de geração	Uso da palha	Energia elétrica excedente	Bagaço excedente
21 bar, 300° C	500 kg/tc	safra	não	10,4 kWh/tc	33 kg/tc
42 bar, 400° C	500 kg/tc	safra	não	25,4 kWh/tc	50 kg/tc
42 bar, 450° C	500 kg/tc	safra	não	28,3 kWh/tc	48 kg/tc
65 bar, 480° C	500 kg/tc	safra	não	57,6 kWh/tc	13 kg/tc
65 bar, 480° C	350 kg/tc	safra	não	71,6 kWh/tc	0 kg/tc
65 bar, 480° C	500 kg/tc	ano todo	50%	139,7 kWh/tc	13 kg/tc
65 bar, 480° C	350 kg/tc	ano todo	50%	153,0 kWh/tc	0 kg/tc

Fonte: CGEE (2005).

Bioeletricidade

Valor do bagaço utilizado para geração de eletricidade



Fonte: Elaboração de Luiz Augusto Horta Nogueira.

Bioeletricidade

Fonte: Elaboração de Luiz Augusto Horta Nogueira.

Bioeletricidade

- O valor de oportunidade do bagaço para produção de energia elétrica, tendo em vista as tarifas usuais de energia elétrica (acima de US$ 60 por kWh, a valores de 2005) e os preços de mercado do bioetanol (geralmente, em torno de US$ 0,50 por litro), indica claramente a maior atratividade da produção de bioeletricidade frente à produção de bioetanol, pelo menos no atual cenário de preços dos vetores energéticos.

Outros coprodutos do bioetanol de cana-de-açúcar

- A cana-de-açúcar permite produzir bem mais do que bioetanol, açúcar e eletricidade.
- Entre os coprodutos tradicionais da cana, poderiam ser citados o melaço, a aguardente, o bagaço, a levedura, a torta de filtro e a vinhaça, enquanto a lista dos novos produtos, numerosa e variada, inclui desde realçadores de sabor para a indústria de alimentos até plástico para embalagens.

Outros coprodutos do bioetanol de cana-de-açúcar

Família	Matéria-prima	Produtos
Biotecnológicos: materiais produzidos com base nas funções biológicas de organismos vivos	Melaço	a) Ácido cítrico b) Aminoácidos: lisina c) Defensivos agrícolas: regulador de crescimento ou fitorreguladores (ácido indolacético, ácido jasmônico), praguicida (biofungicida, controlador biológico, inseticida biológico, praguicida biológico) d) Fixador de nitrogênio e) Inóculo para silagem
Químicos: produtos resultantes de reações químicas efetuadas com ou sem a presença de um elemento catalisador	Melaço, bagaço e vinhaça	a) Insumos industriais (dextrana técnica, gluconato de cálcio, manitol, sorbitol e tensoativos biodegradáveis) b) Furfural (licor de xilose, furfural, álcool furfurílico, compostos furano-epóxi, preservante de madeira, resinas de fundição) c) Plásticos (PHB e PHB/hl, PHA mcl/PHB hpe). d) Insumos para a indústria de papel e celulose (meio para corrugar, pastas quimitermomecânicas, meios filtrantes) e) Vinhaça concentrada

Outros coprodutos do bioetanol de cana-de-açúcar

Fármacos-veterinários: substâncias químicas, biológicas, biotecnológicas ou de preparação manufatureira, diretamente ministradas ou misturadas aos alimentos, destinadas a prevenir e tratar as enfermidades dos animais	Melaço e bagaço	a) Preparado antidiarréico b) Complexo ferro-dextrana c) Probiótico
Alimentos	Melaço, bagaço e vinhaça	a) Derivados da levedura, frutose e glicose b) Frutooligossacarídeos c) Xaropes invertidos por via enzimática d) Cogumelos comestíveis da espécie *Pfeurotus ostreatus*
Biológicos	Bagaço	a) Composto fertilizante
Estruturais: materiais cujas propriedades os tornam utilizáveis em estruturas, máquinas ou produtos consumíveis	Bagaço	a) Aglomerados de bagaço/cimento b) Aglomerados MDF

Fonte: Modificado de IEL/Sebrae (2005).

Outros coprodutos do bioetanol de cana-de-açúcar

- Com relação aos novos produtos, é importante observar que, a par da significativa agregação de valor a eles associada, os investimentos em plantas são relativamente pequenos, em comparação com uma usina de bioetanol.

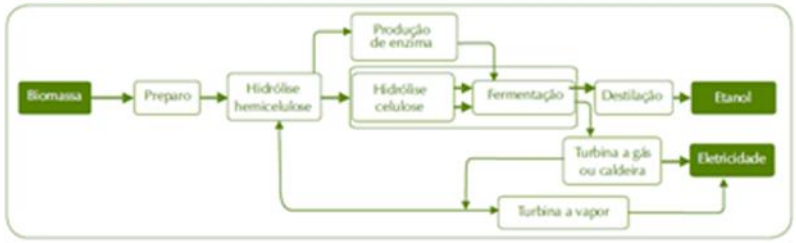
- Talvez o maior desafio a enfrentar para a adequada promoção e difusão desses processos seja o domínio das tecnologias envolvidas, que pressupõe o conhecimento aplicado da moderna biotecnologia e todo o aparato de instrumentação e controle que ela compreende.

Tecnologias avançadas na agroindústria da cana-de-açúcar

- **Hidrólise de resíduos lignocelulósicos**
- As tecnologias para a obtenção de bioetanol com base em materiais lignocelulósicos envolvem a hidrólise dos polissacarídeos da biomassa em açúcares fermentescíveis sua posterior fermentação para a produção do bioetanol.
- Para executar essa tarefa, a hidrólise utiliza tecnologias complexas e multifásicas, com base no uso de rotas ácidas e/ou enzimáticas para a separação dos açúcares e remoção da lignina.

Tecnologias avançadas na agroindústria da cana-de-açúcar

Esquema do processo de produção de etanol por meio da hidrólise da biomassa



Fonte: Seabra (2008).

Tecnologias avançadas na agroindústria da cana-de-açúcar

- **Gaseificação para produção de combustíveis e eletricidade**

- A gaseificação é um processo de conversão termoquímica da biomassa, realizado a elevadas temperaturas, em que as substâncias orgânicas (sólidas ou líquidas) são convertidas em produtos gasosos, principalmente CO, H2, CO2 e vapor d´água, observando-se também a formação de hidrocarbonetos leves e outros compostos voláteis e condensáveis como produtos secundários.

Tecnologias avançadas na agroindústria da cana-de-açúcar

- **Uso de bioetanol como insumo petroquímico ou alcoolquímico**

- O bioetanol é uma substância homogênea e reativa, que pode ser utilizada como insumo em diversos processos tradicionalmente petroquímicos, que nesse caso poderiam ser denominados alcoolquímicos.

Tecnologias avançadas na agroindústria da cana-de-açúcar

Processos básicos da indústria alcoolquímica

Processos	Principais produtos	Aplicação típica
Desidratação	Eteno Propeno Etilenoglicol	Resinas plásticas Solventes Éter etílico Fibras têxteis
Desidrogenação Oxigenação	Acetaldeído	Ácido acético Acetatos Corantes
Esterificação	Acetatos Acrilatos	Solventes Fibras têxteis Adesivos
Halogenação	Cloreto de etila	Fluídos refrigerantes Produtos medicinais Resinas plásticas
Amonólise	Dietilamina Monoetilamina	Inseticidas Herbicidas
Desidrogenação Desidratação	Butadieno	Borrachas sintéticas

Fonte: Elaborado com base em Schuchardt (2001).

Tecnologias avançadas na agroindústria da cana-de-açúcar

- **Produção de plásticos biodegradáveis**

- Utilização dos plásticos biodegradáveis, polímeros que, sob condições apropriadas do meio ambiente, degradam-se completamente pela ação microbiana em um curto espaço de tempo.

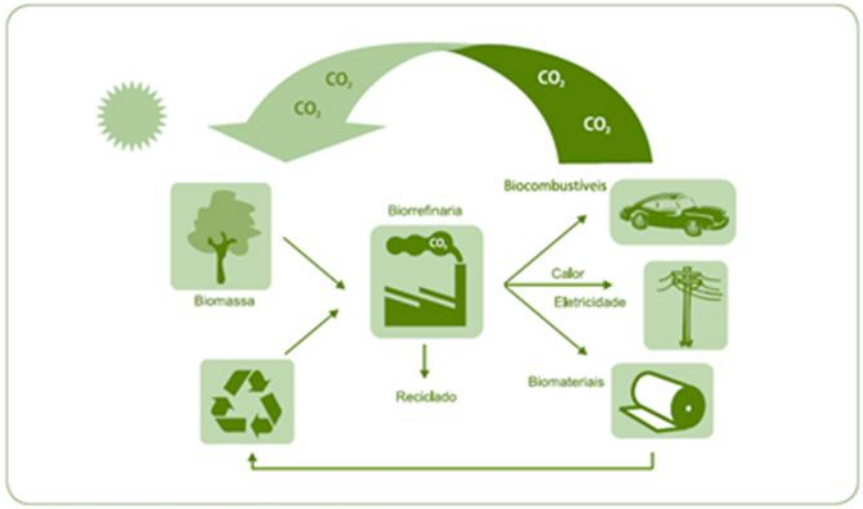
- No caso dos bioplásticos, ainda existe a importante vantagem de serem produzidos de fontes renováveis, como amido, açúcares ou ácidos graxos.

Tecnologias avançadas na agroindústria da cana-de-açúcar

- **Biorrefinaria: múltiplos produtos e uso integral da matéria-prima**

- Uma biorrefinaria, similiar à sua análoga para o petróleo, pode ser definida como um complexo integrado capaz de produzir diferentes produtos (combustíveis, químicos e eletricidade) com base em diferentes biomassas , num conceito que permitiria o alcance de maiores eficiências, tanto do ponto de vista termodinâmico quanto do ponto de vista econômico e ambiental.

Ciclo integrado completo agri-biocombustível-biomaterial-bioenergia para tecnologias sustentáveis



Fonte: Elaborado com base em Ragauskas et al. (2006).

Bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil

Evolução da produção de cana-de-açúcar, etanol e açúcar no Brasil

Fonte: Unica (2008).

Bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil

Bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil

- **Agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil**
- Atualmente, a cultura da cana alcança quase todos os estados brasileiros e ocupa cerca de 9% da superfície agrícola do país, sendo o terceiro cultivo mais importante em superfície ocupada, depois da soja e do milho.
- As usinas brasileiras trabalham, em média, com 80% da cana proveniente de terras próprias e arrendadas ou de acionistas e companhias agrícolas com alguma vinculação às usinas.
- Os 20% restantes são fornecidos por cerca de 60 mil produtores independentes, a maioria utilizando menos de dois módulos agrícolas.

Bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil

- Geograficamente, as usinas de açúcar e bioetanol situam-se junto às regiões produtoras de cana, a maior parte delas localizada no Estado de São Paulo.

- Entretanto, nos últimos anos, com a relativa saturação das áreas disponíveis nesse estado e a elevação dos custos da terra, as novas unidades de produção têm se instalado na região do Triângulo Mineiro, Sul de Goiás e Sudeste de Mato Grosso do Sul.

Bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil

Localização das novas usinas de açúcar e etanol no Brasil

Fonte: CGEE (2006).

Bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil

- **Pesquisa e desenvolvimento tecnológico**

- Na expansão da produção de bioetanol pelas usinas brasileiras, a incorporação de processos inovadores e o desenvolvimento tecnológico cumpriram um papel essencial, com incremento da eficiência na produção e progressiva redução dos impactos ambientais.

Bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil

- Para as condições do Centro-Sul brasileiro , os temas considerados de maior relevância são os seguintes:

- a. processos para recuperação e uso da palha e bagaço excedentes;
- b. desenvolvimento de variedades transgênicas de cana;
- c. seleção de cultivares (melhoramento convencional para novas áreas e adoção do conceito da cana energética, em que se procura maximizar o resultado global que pode ser conseguido mediante o processamento do açúcar e da fibra para produção de energia);
- d. desenvolvimento de equipamentos e processos para a extração do caldo, tratamento, fermentação e separação do bioetanol;

Bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil

- e. sistemas para agricultura de precisão, em que as intervenções no cultivo são definidas com auxílio de técnicas de geoprocessamento e sistemas de posicionamento global (GPS – *global positioning systems*);
- f. controles biológicos de pragas e doenças;
- g. práticas de cultivo da cana adequadas para a colheita mecânica;
- h. novos produtos e processos de sucroquímica alcoolquímica;
- i. uso final do bioetanol: aperfeiçoamentos na tecnologia de motores bicombustível e células a combustível operando com bioetanol.

Sustentabilidade do bioetanol de cana-de-açúcar

- **Produção de bioetanol de cana-de-açúcar sobre o prisma da sustentabilidade:**

- Possibilidade de os sistemas bioenergéticos manterem sua produção a largo prazo, sem depleção sensível dos recursos que lhe dão origem, como a biodiversidade, a fertilidade do solo e os recursos hídricos.

Sustentabilidade do bioetanol de cana-de-açúcar

- **Emissões de gases de impacto ambiental**

- Por causa do elevado rendimento fotossintético observado na produção da cana-de-açúcar e do processo eficiente para sua conversão em biocombustível, a utilização de bioetanol obtido dessa matéria-prima permite reduzir, de forma importante, as emissões de gases de efeito estufa, em comparação com o uso do combustível fóssil (gasolina), para um mesmo efeito útil final em veículos.

Sustentabilidade do bioetanol de cana-de-açúcar

- **Emissões de gases de impacto local**

- Na produção do bioetanol, as emissões de impacto local que preocupam estão associadas, essencialmente, à queima da palha da cana pré-colheita e às emissões nas chaminés das caldeiras.

- Há uma forte disposição dos órgãos públicos brasileiros para restringir essa prática, o que implica, indiretamente, eliminar o corte manual, bastante dificultado no caso da cana crua, isto é, a cana sem queimar.

Sustentabilidade do bioetanol de cana-de-açúcar

- **Uso de recursos hídricos e disposição de efluentes**
- Atualmente, segundo os critérios da Embrapa, as lavouras de cana não apresentam impactos na qualidade da água.
- Com relação aos usos, 87% do consumo da água ocorrem em quatro processos: lavagem de cana, condensadores/multijatos na evaporação e vácuos, resfriamento de dornas e condensadores de álcool.
- Com a racionalização do consumo da água (reutilizações e fechamentos de circuitos e algumas mudanças de processo, como a limpeza a seco e a redução da lavagem da cana, por conta do corte mecanizado), a captação tem sido reduzida de modo significativo.

Sustentabilidade do bioetanol de cana-de-açúcar

- **Uso de defensivos agrícolas**

- Na produção de cana-de-açúcar, são usados regularmente produtos químicos como inseticidas, fungicidas, herbicidas e agentes maturadores ou retardadores de florescimento, em níveis que podem ser considerados baixos em comparação à média observada em outros cultivos comerciais de importância.

Sustentabilidade do bioetanol de cana-de-açúcar

- **Uso de fertilizantes**
- A cultura da cana no Brasil consume uma quantidade relativamente baixa de fertilizantes convencionais.
- O consumo de fertilizantes representa uma parcela relevante dos custos agrícolas, o que justifica a crescente adoção de novas tecnologias para tentar diminuir a demanda de adubos e calcário, racionalizando seu uso.

Sustentabilidade do bioetanol de cana-de-açúcar

- **Erosão e proteção do solo**

- Como a cultura da cana-de-açúcar é praticada há séculos no Brasil (em muitos casos, na mesma área), existem suficientes informações a respeito do seu impacto sobre a conservação do solo.

- O uso crescente da colheita da cana crua, em que a palha protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva e do preparo reduzido, com menor mobilização do solo, deverá nos próximos anos melhorar ainda mais o nível de conservação de solos cultivados com cana-de-açúcar.

Sustentabilidade do bioetanol de cana-de-açúcar

- **Biodiversidade**

- A produção eficiente de bioetanol de cana-de-açúcar impõe o plantio de canaviais, monocultura cujo impacto ambiental depende das características originais do terreno ocupado e da adoção de práticas atenuadoras.

- São distintos os efeitos do plantio da cana em áreas anteriormente ocupadas por outras culturas ou pela pecuária extensiva, frente ao plantio em áreas de formações nativas.

- Nos primeiros casos, ocorre uma substituição de usos do solo, enquanto, no segundo caso, podem existir impactos negativos relevantes.

Sustentabilidade do bioetanol de cana-de-açúcar

- **Outros aspectos ambientais**
- Recentemente, duas novas questões ambientais relacionadas com a produção de bioetanol de cana-de-açúcar têm sido apresentadas:
- A emissão de gases de efeito estufa associada à mudança do padrão de uso do solo, com a perda de sua cobertura original, quando da implantação dos canaviais.
- O processo indireto de desmatamento causado pela ocupação das áreas de pastagens pela cana, que determina a transferência dos rebanhos para as fronteiras agropecuárias, onde seriam formadas novas áreas de criação.

Sustentabilidade do bioetanol de cana-de-açúcar

Potencial para produção de cana-de-açúcar no Brasil

Potencial	Produtividade esperada (t/ha)	Área com potencial de utilização			
		Sem irrigação		Com irrigação	
		Milhão de ha	%	Milhão de ha	%
Alto	> 80	7,90	2,2	37,92	10,5
Médio	>73	113,90	31,5	98,02	27,1
Baixo	> 65	149,22	41,3	167,65	46,4
Impróprio	< 65	90,60	25,1	58,00	16,0
Total	–	361,62	100,0	361,59	100,0

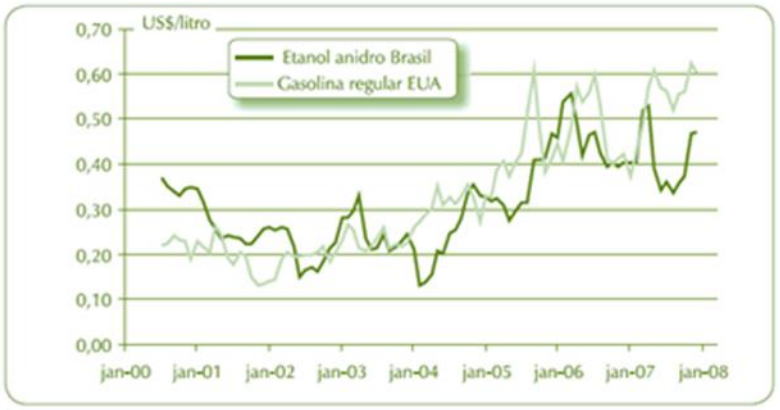
Fonte: CGEE (2005).

Viabilidade econômica do bioetanol de cana-de-açúcar

- O baixo custo de produção do bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil é um fato bem conhecido.
- Em diversas fontes, estima-se que, incluídos todos os insumos e fatores, seu custo esteja entre 0,25 US$/litro e 0,30 US$/litro.
- Nos últimos anos o bioetanol de cana-de-açúcar passou a apresentar preços mais atrativos do que a gasolina, ao nível do produtor, sem considerar qualquer tributo ou subsídio.

Viabilidade econômica do bioetanol de cana-de-açúcar

Evolução dos preços pagos ao produtor, sem tributos, de gasolina nos EUA e de bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil



Fonte: Valores tomados de Cepea (2008) e EIA (2008).

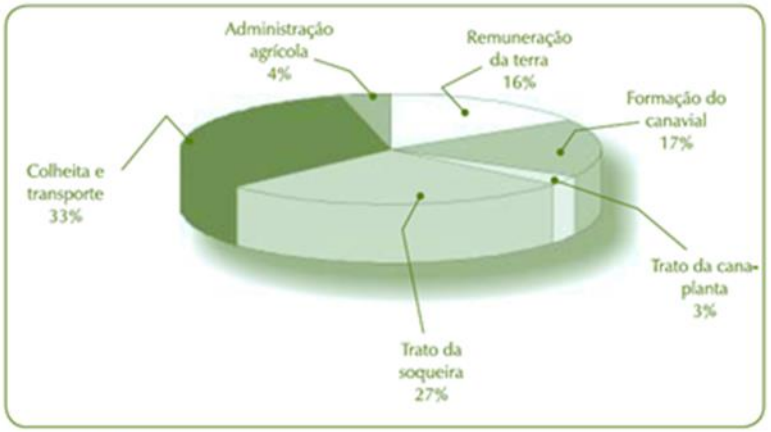
Viabilidade econômica do bioetanol de cana-de-açúcar

- Observando as séries de preços, constata-se que o bioetanol hidratado apresenta uma boa competitividade frente à gasolina, avaliada em custo por quilômetro percorrido.

- Os custos referentes ao investimento industrial, à operação e à manutenção da unidade de processamento da cana e produção de bioetanol se elevaram bastante nos últimos anos, especialmente por causa dos aumentos de preços dos equipamentos e materiais.

Viabilidade econômica do bioetanol de cana-de-açúcar

Estrutura dos custos de produção da cana-de-açúcar no Centro-Sul em 2005



Fonte: CGEE (2005).

Viabilidade econômica do bioetanol de cana-de-açúcar

- É provável que, nas usinas em implantação nas novas fronteiras produtoras, os custos do bioetanol sejam inferiores, devido:

- A localização dessas plantas, com maior densidade dos canaviais (menores custos de transporte).
- O fato de serem dedicadas apenas à produção de biocombustível, reduzindo os custos da matéria-prima e os investimentos.

- Do ponto de vista econômico, a produção de bioetanol de cana-de-açúcar apresenta-se sustentável, com preços e custos efetivamente viáveis.

Geração de emprego e renda na agroindústria do bioetanol

- **Geração de emprego e renda na agroindústria no bioetanol**

- Com a evolução das tecnologias empregadas, observa-se:
- Menor crescimento dos requerimentos de pessoal;
- Elevação da capacitação requerida;
- Aumento da qualidade do trabalho desenvolvido.

Geração de emprego e renda na agroindústria do bioetanol

- O plantio da cana, os tratos culturais e, principalmente, sua colheita representam as maiores demandas de pessoal temporário em uma usina de açúcar e bioetanol, correspondendo a cerca de 70% da mão-de-obra contratada, com níveis de emprego distintos para os períodos de safra e entressafra.

- A sazonalidade dos empregos na agroindústria da cana vem se reduzindo como consequência da extensão das safras e da maior mecanização

Geração de emprego e renda na agroindústria do bioetanol

- Apesar das melhorias alcançadas, ainda existem situações adversas, principalmente para os empregados temporários ocupados na colheita manual da cana-de-açúcar.
- Nessas, as condições de trabalho são bem mais árduas do que na indústria e em que se adota um sistema de pagamento por volume de cana cortado.
- É oportuno observar que, mesmo com expressivas reduções na demanda de mão-de-obra, o bioetanol de cana-de-açúcar continuará sendo bastante intensivo em trabalho.

Potencial global para a produção de biocombustíveis

- O maior potencial para a produção de cultivos energéticos encontra-se na África Subsaariana e na região da América Latina e Caribe.
- As duas últimas regiões possuem áreas agrícolas não utilizadas e ecologicamente adequadas para a produção de cultivos energéticos, em particular a cana-de-açúcar.
- O impacto da tecnologia adotada para a produção animal sobre as disponibilidades de área agrícola para o desenvolvimento dos biocombustíveis é bastante relevante para a América Latina.

Potencial global para a produção de biocombustíveis

- Os resultados desse estudo são bastante otimistas no que diz respeito ao impacto da produção bioenergética sobre a produção de alimentos.

- Quase um bilhão de hectares no mundo podem ser utilizados na produção de biomassa para fins energéticos, incluindo 400 milhões de hectares de terras aráveis e pastagens e uma área maior de terras marginais e degradadas, o que significa em torno de 7% da superfície terrestre e menos de 20% da terra atualmente em uso para produção agrícola.

Oferta e demanda de biocombustíveis: quadro atual

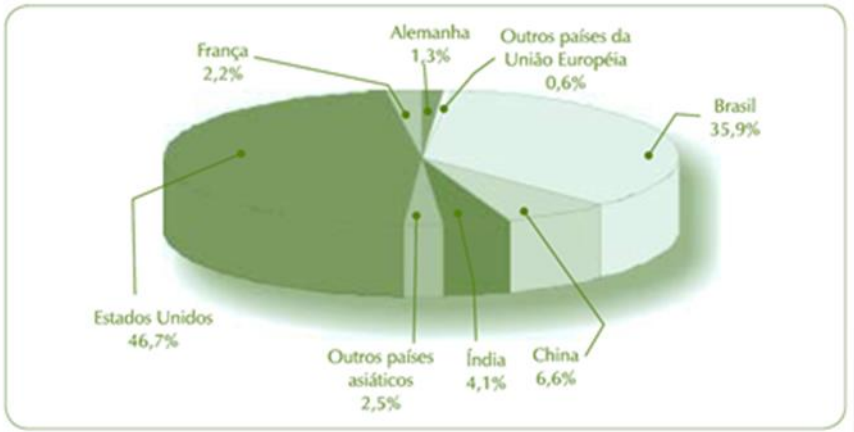
- A contribuição dos biocombustíveis à demanda total de energia alcança quase 30% no Brasil e na Índia e apenas 1% no Reino Unido e na Rússia.
- Em países como Canadá, França, Alemanha e Estados Unidos, essa contribuição varia entre 3% e 4%, alcançando cerca de 20% na Suécia e na Finlândia.
- A parcela atendida pela bioenergia na Índia, na China e no México está diminuindo, muito provavelmente por causa do aumento no uso de querosene e GLP nas residências.
- Por outro lado, a contribuição dos biocombustíveis nos países do G8, especialmente na Alemanha, na Itália e no Reino Unido, cresceu a uma taxa anual de 4% a 6% nos últimos anos.

Oferta e demanda de biocombustíveis: quadro atual

- Dados sobre produção de bioetanol revelam importantes tendências de expansão e diversificação.
- Em 2006, a produção total mundial desse biocombustível foi de 51,3 bilhões de litros e no ano seguinte alcançou 55,7 bilhões de litros.
- Em 2007, com uma produção de 26 bilhões de litros com base no milho, os Estados Unidos continuaram na liderança da produção global de bioetanol.
- O Brasil, segundo produtor mundial, produziu nesse mesmo ano cerca de 20 bilhões de litros de bioetanol derivado da cana-de-açúcar.

Oferta e demanda de biocombustíveis: quadro atual

Distribuição da produção de etanol em 2007 por regiões



Fonte: Elaborado com base em REN21 (2008) e F. O. Licht (2007).

Políticas de suporte e fomento aos biocombustíveis

- Elevar a segurança energética e mitigar mudanças climáticas estão entre os mais importantes fatores de motivação para programas bioenergéticos na maioria dos países.

- As questões ambientais estão mais presentes nos países desenvolvidos, enquanto o potencial dos biocombustíveis para promover o desenvolvimento rural é um fator impulsionador destacado para os países em desenvolvimento.

Políticas de suporte e fomento aos biocombustíveis

- As medidas voluntárias, particularmente para os biocombustíveis, referem-se à autorização para mistura com combustíveis convencionais e progressiva introdução no mercado.
- Os incentivos diretos compreendem os que são financiados pelo poder público, como redução de impostos, subsídios, apoio e garantia a empréstimos relacionados com os biocombustíveis.
- A implementação de medidas de política no setor de transporte apresenta imediato nexo com o fomento aos biocombustíveis.

Conexões entre alimentos e bioenergia

- A utilização de terras agrícolas para produção de matérias-primas de interesse energético é quase desprezível frente à área total cultivada.
- Têm ocorrido claros desequilíbrios entre a oferta e a demanda de cereais importantes na dieta de muitos países, quadro que tem sido associado de modo simplista à crescente produção de biocombustíveis.
- A participação do bioetanol de cana-de-açúcar como causa desses desequilíbrios e movimentos de preços é absolutamente marginal, se não nula, pela reduzida área ocupada.

Conexões entre alimentos e bioenergia

- Assim, os impactos dos biocombustíveis são claramente diferenciados segundo sua origem.

- Enquanto o bioetanol de cana-de-açúcar produzido no contexto de países de elevada produtividade, como os localizados em regiões de clima adequado, pouco afeta a produção de outros bens agrícolas, os biocombustíveis produzidos em grande escala no contexto norteamericano e europeu impactam diretamente e de modo crescente a disponibilidade de produtos alimentares.

Conexões entre alimentos e bioenergia

Índices de preço para petróleo bruto e produtos agrícolas associados ao bioetanol e ao biodiesel
(Média 2000 = 100)

Fonte: Rodríguez (2008b).

Fatores de indução para um mercado global de bioetanol

- Existem desafios importantes associados à formação de um mercado internacional para o bioetanol.
- Por exemplo, medidas alfandegárias de caráter protecionista e padrões de qualidade desequilibrados podem afetar as oportunidades dos países em desenvolvimento, potenciais produtores, no acesso ao mercado internacional de bioetanol.
- Do mesmo modo, são restritivas as medidas que buscam exclusivamente o incremento da produção em países industrializados.

Fatores de indução para um mercado global de bioetanol

- Existe também a preocupação de que o aumento nas tarifas sobre biocombustíveis nos mercados de países industrializados obrigue os países em desenvolvimento a exportar insumos, tais como correntes açucaradas e óleos vegetais em bruto, deixando a fase industrial da produção dos biocombustíveis, com os benefícios associados pela agregação de valor, para o país importador.

Fatores de indução para um mercado global de bioetanol

- Um mercado global para o bioetanol deverá ser uma realidade em poucos anos.
- Sua magnitude e abrangência entre os países dependerão de diversos elementos que ainda estão se delineando, tais como:
- Decisões políticas dos países em relação aos seus mercados internos;
- Discussões sobre critérios de sustentabilidade;
- Negociações de comércio internacional e reação da sociedade civil nos países em desenvolvimento e nos países industrializados.

Uma visão de futuro para o bioetanol combustível

- O bioetanol de cana-de-açúcar é uma opção estratégica e sustentável, passível de ser adaptada e replicada em outros países com disponibilidade de terras e condições edafoclimáticas adequadas.

- É interessante desenvolver novas tecnologias para o bioetanol, mas elas não são, em absoluto, imprescindíveis para que se promova desde agora seu uso de forma mais intensa.

Uma visão de futuro para o bioetanol combustível

- A compreensão do alcance do bioetanol de cana-de-açúcar tende a se ampliar e, em alguns foros importantes, já se procura destacar esse biocombustível dos demais, indicando sua viabilidade e racionalidade.

- Com a utilização das tecnologias em desenvolvimento ou já em fase-piloto, caminhasse cada vez mais em direção às biorrefinarias, complexos produtivos capazes de fornecer bioenergia e biomateriais diversos, incluindo alimentos e plásticos biodegradáveis.

Referências

- Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável / organização BNDES e CGEE. – Rio de Janeiro : BNDES, 2008.

- Júnia Roberta de Souza Pereira

Causas, consequências e busca de soluções para os atrasos em projetos de novos empreendimentos de geração

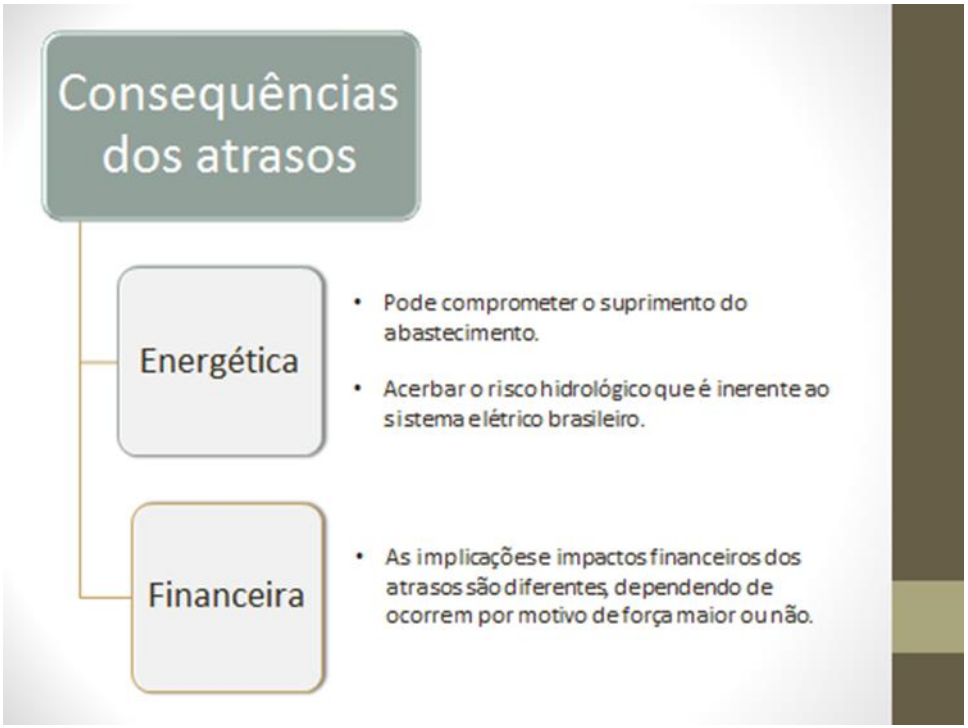
Introdução

- O setor elétrico brasileiro está se deparando com uma série de atrasos em projetos de geração de energia elétrica que foram contratos nos leilões de energia nova de A-3 e A-5 em 2007 e 2008.
- São inúmeros projetos com atrasos substanciais.
- Alguns desses projetos nem sequer tiveram suas obras iniciadas.

Causas dos atrasos

- Os problemas que levaram a atrasos nos projetos de geração já contratados têm causas diversas, destacando-se:

- Incapacidade de obter o licenciamento ambiental;
- Problemas na conexão à rede elétrica;
- Falta de capacidade financeira do empreendedor;
- A inexperiência de novos agentes com a atividade de geração de energia elétrica.


Consequências dos atrasos
Energética
Pode comprometer o suprimento do abastecimento.
Acerbar o risco hidrológico que é inerente ao sistema elétrico brasileiro.
Financeira
As implicaçõese impactos financeiros dos atrasos são diferentes, dependendo de ocorrem por motivo de força maior ou não.

Consequências dos atrasos

- Quando os atrasos são por motivo de força maior, a ANEEL permite que o gerador adie a entrada em vigor dos contratos firmados nos leilões de energia nova.

- Distribuidoras são autorizadas a ficarem temporariamente expostas e autorizadas a comprar energia no Mercado de Curto Prazo da CCEE sem penalização.

- Há maiores transtornos financeiros em anos secos, quando o PLD encontra-se com preços elevados.

Consequências dos atrasos

- Atraso por responsabilidade exclusiva do gerador:
- O empreendedor é obrigado a comprar a energia para honrar seus compromissos.
- Senão, é obrigado a arcar com a exposição ao PLD no Mercado de Curto Prazo e será novamente penalizado.
- Do contrário, o agente pode ser desligado do mercado.

Busca de soluções

- No âmbito regulatório estão sendo estudadas medidas para aumentar a segurança do ambiente de comercialização de energia.
- Dentre elas:
- É desejável que os contratos dos geradores inadimplentes sejam suspensos o mais rápido possível.
- Suspensos os contratos, as distribuidoras ficariam expostas ao Mercado de Curto Prazo de maneira involuntária, ou seja, não sujeita a penalidades.

Busca de soluções

- Aperfeiçoar e tornar mais funcional a sistemática dos depósitos de garantias financeiras por parte dos novos empreendedores.

- Tendência de adoção, pela ANEEL e CCEE, de um maior rigor para a participação de empreendedores nos leilões de energia nova.

Busca de soluções

- Fragilidade: as garantias financeiras exigidas representam um valor pequeno em relação ao investimento total .
- Elas só são executadas no caso de o empreendimento não ser efetivamente construído.
- Uma execução parcial de garantias em caso de atraso constatado no cronograma seria uma penalização mais efetiva para o empreendedor.

Busca de soluções

- Os leilões de energia nova devem continuar abertos a novos empreendedores, fomentando a competição e a busca de projetos inovadores e com eficiência econômica.
- A participação nos leilões de energia nova deve ser mais seletiva, assegurando a vitória somente de projetos mais consistentes do ponto de vista financeiro.
- As regras de comercialização devem ser aperfeiçoadas de forma a evitar uma inadimplência em cascata quando ocorrer um atraso de cronograma.

Considerações sobre a Ampliação da Geração Complementar ao Parque Hídrico Brasileiro

Objetivo

- Analisar as características dos projetos de energia elétrica que seriam mais convenientes contratar para a expansão da geração não-hídrica.

- Fazer com que, do ponto de vista econômico, o sistema elétrico funcione de maneira mais eficiente.

Justificativa

- Necessidade crescente de geração sazonalmente complementar ao regime de afluências.

Parque Hídrico Brasileiro

- Apresenta incertezas vinculadas à não previsibilidade das chuvas.
- Energia distribuída ao longo do ano de forma desigual.
- Busca reduzir ao máximo o impacto da incerteza e da sazonalidade das afluências através da construção de grandes reservatórios.

Transição no sistema de geração hídrica brasileiro

- Expansão da capacidade geradora sem reservatórios de grande porte.

Isso se deve a :

- Localização do potencial hídrico na Região Norte.
- Crescentes restrições ambientais.

Transição no sistema de geração hídrica brasileiro

- Necessidade de recursos alternativos de geração no período seco.
- Diversificação da matriz = ampliação do parque de geração térmica.
- Usinas térmicas flexíveis = reserva de energia, usadas apenas nos cenários adversos.

Térmicas flexíveis

- Elevado grau de incerteza quanto ao seu nível efetivo de uso e ao custo vinculado a um despacho prolongado.
- Não é a alternativa mais eficiente do ponto de vista econômico e ambiental.

A importância da geração com sazonalidade complementar

- Necessidade real e objetiva na diversificação da matriz elétrica brasileira.
- Definição de critérios para selecionar outras fontes de expansão de geração de energia.
- Busca-se maior eficiência econômica, elétrica e ambiental.

A importância da geração com sazonalidade complementar

- A contratação de empreendimentos de fontes não-hídricas será necessária, não somente para abastecer o mercado, mas para *manter e aumentar a eficiência do próprio sistema hídrico.*

A importância da geração com sazonalidade complementar

Surgirá um *gap* crescente entre a carga e a capacidade efetiva de geração hídrica no período seco. Isto ocorrerá por duas razões:

1. As novas usinas hídricas a fio d'água não têm a opção de poupar água localmente; e

2. Há limitações hidráulicas para armazenar em reservatórios remotos grandes blocos de energia excedente para uso durante o período seco.

A importância da geração com sazonalidade complementar

- Com a crescente carga será preciso contratar novas térmicas flexíveis e despachar as preexistentes com frequência cada vez maior.
- Isso equivale a transformar progressivamente o parque térmico, que era uma reserva de energia, em fonte de energia.
- Custos elevados.

A importância da geração com sazonalidade complementar

- A contratação de geração sazonalmente complementar, surge como uma alternativa interessante, importante e necessária.
- Isso permitirá:
- Expandir o sistema sem continuar a comprometer a capacidade de regularização dos reservatórios.
- Atender uma carga maior com variações mais suaves na energia armazenada ao longo de todo ano.

Bioeletricidade

- Biomassa de cana de açúcar= geração inflexível.
- Produz apenas durante os meses de processamento da safra.
- Unidades de cogeração integrada, excedente de energia produzido é vendido pra concessionária.
- Usinas de cana mais antigas=reserva de energia elétrica a disposição do SEB .
- Complementaridade das duas fontes de energia, já que a moagem de cana se concentra nos meses de baixas afluências.

Energia eólica

- O potencial eólico do país é grande.
- Tendência de redução dos custos dos equipamentos.
- Existência de linhas de financiamento do governo.
- Complementaridade do regime de ventos em relação ao regime de chuvas, justamente nas áreas onde há maior potencial para geração eólica.

Geradoras térmicas com custo variável baixo

- Contratação de geração térmica de custo variável baixo como reserva de energia é muito atraente para o setor elétrico.
- Arca com os custos variáveis de geração apenas quando ela é necessária.
- Com térmicas eficientes, a transição para um sistema de geração térmica na base pode ser feita à medida que isso se torne efetivamente necessário.

Visão integrada do setor de energia

- O suprimento de combustível é um dos principais itens de custo da geração térmica.
- O consumo de combustíveis para geração térmica não segue o padrão normal da indústria de combustível.

Visão integrada do setor de energia

- Uma possível alternativa para reverter esta situação pode estar na adoção de *modalidades de contratação de geradores térmicos que contemplem as características da cadeia de valor do suprimento de combustíveis*.

- Um bom projeto térmico requer um bom contrato de fornecimento de combustíveis, em termos de volume e prazos de fornecimento, resultando em preços baixos.

Visão integrada do setor de energia

- É necessário um esforço para viabilizar projetos de térmicas eficientes.
- Isto pode ser feito inserindo cláusulas nos contratos de novas térmicas que reduzam, seja a incerteza do despacho (e do consumo de combustíveis), seja o impacto desta incerteza sobre a cadeia de valor dos fornecedores do insumo energético.

Considerações sobre as Perspectivas da Matriz Elétrica Brasileira

A Transição da Matriz Elétrica Brasileira

- A expansão da capacidade instalada de geração hidroelétrica não será capaz de atender o crescimento da demanda de energia sozinha.

Isso se deve a :

- i. A importância estratégica dos reservatórios das centrais elétricas como fatores de regularização da oferta de energia elétrica ao longo do ano; e

- ii. As restrições legais e incapacidade geográfica de serem construídas novas centrais hidroelétricas com grandes reservatórios.

A Transição da Matriz Elétrica Brasileira

- Necessidade de diversificação da matriz elétrica brasileira, sobretudo de geração complementar à hidroeletricidade no período seco do ano.
- Entre estas opções destacam-se: gás natural, bioeletricidade sucroenergética, recursos eólicos, energia nuclear, carvão mineral e, bem no "final da fila", derivados de petróleo.
- **Quais dentre estas opções devem ser priorizadas na expansão e diversificação da matriz elétrica brasileira?**

A Transição da Matriz Elétrica Brasileira

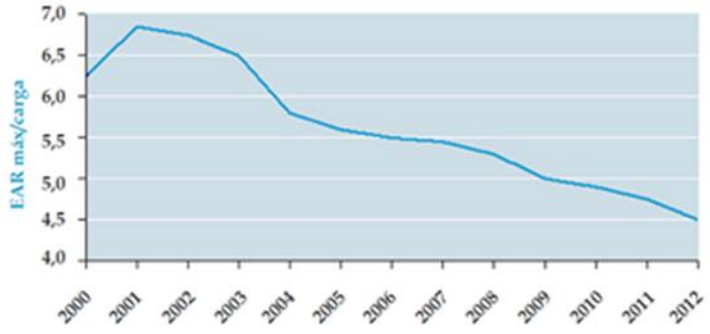
- A geração hidroelétrica representa mais de 80% da oferta brasileira de energia elétrica.
- A base hídrica do parque gerador brasileiro apresenta uma característica importante: a sazonalidade do regime fluvial brasileiro.
- Construção de grandes reservatórios capazes de estocar água no período úmido do ano e a conversão desta reserva em energia elétrica no período seco do ano.

A Transição da Matriz Elétrica Brasileira

- É preciso que:
- A capacidade instalada do sistema seja consideravelmente superior à demanda de ponta do sistema.
- Que o sistema tenha centrais térmicas instaladas e atuando como *backup* estrutural para o parque gerador.
- Ao mesmo tempo, estas térmicas cumprem o papel de atender a ponta do sistema, especialmente no período seco do ano, caso seja necessário.

A Transição da Matriz Elétrica Brasileira

Evolução da Capacidade de Regularização dos Reservatórios. 2000-2012



Fonte: Chipp, Hermes. Procedimentos Operativos para Assegurar o Suprimento Energético do SIN. Apresentação no GESEL-IE-UFRJ. Rio de Janeiro, 9 de Julho 2008.

A Transição da Matriz Elétrica Brasileira

- A geração hidroelétrica não terá capacidade de atender sozinha a carga no período seco ano.
- Necessidade crescente de outras fontes de energia operarem na base do sistema durante o período seco do ano.
- Falhas resultaram na contratação de um montante significativo de usinas termoelétricas **sem vocação para operar na base do sistema.**

Gás Natural

- Representam uma barreira ao seu uso:
- O caráter aleatório do despacho de usinas termoelétricas no sistema elétrico brasileiro.
- O desenho atual de contratação de energia que transfere esta incerteza integralmente para a cadeia de produção do gás natural.

Gás Natural

- O consumo de gás natural para geração de energia é oscilante e instável.
- Durante o período seco do ano o sistema elétrico brasileiro apresentará condições adequadas para o estabelecimento de contratos de suprimento firme de gás natural.
- Entretanto, será ainda preciso definir qual será a destinação do gás no período úmido do ano de forma a viabilizar os investimentos incorridos para disponibilização do gás.

Gás Natural

- As usinas termoelétricas ciclo aberto movidas a gás natural se constituem em uma opção viável e importante para atuar na ponta do sistema.
- O gás natural deve ser a opção prioritária na complementação do parque hídrico brasileiro com base na oferta brasileira crescente deste energético e em seus menores impactos ambientais.
- Esta inserção deve ocorrer basicamente para operação na base durante o período seco do ano.

Bioeletricidade Sucroenergética

- Sob a ótica do setor elétrico, a principal importância da bioeletricidade sucroenergética é sua intrínseca complementaridade com o parque hidroelétrico.

- O ciclo expansivo do setor sucroenergético garante uma oferta crescente de biomassa canavieira.

Estimativas do Potencial da Bioeletricidade Sucroenergética (em milhão de Ton e MWmed)

Safra	Cana (em milhões de toneladas)	Potencial de Geração (em MWmed)
2012/13	696	9.642
2015/16	828	11.484
2020/21	1038	14.379

Fonte: Elaborado por GESEL-IE-UFRJ a partir de dados da UNICA.

Bioeletricidade Sucroenergética

- É uma fonte de energia com aptidão para operar na base do sistema durante o período seco do ano.
- É uma fonte de geração distribuída por grande parte das usinas estarem localizadas próximas ao centro de carga.
- É uma energia neutra em carbono .

Energia Eólica

- A energia eólica é uma fonte de energia intrinsecamente complementar ao regime hídrico.

Energia Eólica

- Se torna necessário um parque gerador com capacidade instalada consideravelmente superior à demanda de ponta do sistema.

- O Brasil possui uma condição favorável à inserção da energia eólica na medida em que não possui a necessidade de construir ou remunerar centrais térmicas de *backup*.

Energia Eólica

- Existem limitações para a inserção desta fonte no sistema elétrico por questões de ordem elétrica, principalmente para o Operador Nacional do Sistema, oriundas do caráter intermitente do recurso eólico.

- O potencial eólico se localiza distante dos centros de carga, necessitando de investimentos no sistema de reforços da rede.

Energia Nuclear

- A relevância da geração elétrica a partir de recursos nucleares se dá pela elevada densidade energética deste insumo e pela não emissão de gases do efeito estufa.
- O Brasil é detentor de uma das seis maiores reservas de urânio do mundo tendo prospectado menos de 50 % do território nacional.
- A energia nuclear apresenta um caráter inflexível que é compatível com a necessidade crescente de complementação da geração hídrica brasileira.

Carvão

- São uma boa alternativa de expansão do parque gerador brasileiro em termos estritamente econômicos.
- Apresentam um custo variável inferior aquele verificado em térmicas movidas a outros combustíveis fósseis.
- São adequadas para operarem na base do sistema de forma complementar a geração hídrica.
- Apresentam impactos ambientais consideráveis.

Óleo Combustível

- Se caracterizam por um elevado custo do combustível.
- Este tipo de usina deve ser descartado do processo de expansão do sistema elétrico brasileiro.
- Seus elevados custos variáveis são incompatíveis com geração na base no período seco.

Considerações Finais

- Dentre as fontes passíveis de serem inseridas na matriz elétrica de forma a complementar a geração hídrica, destacam-se, pela ordem de importância estratégica, econômica e ambiental :

- Isso se deve principalmente pela possibilidade destas fontes de energia poderem operar na base de forma eficiente no período seco, ajudando assim a "poupar" água nos reservatórios.

Contratação de Energia Elétrica: Aspectos Regulatórios e Econômicos

Objetivo

- Contribuir para a discussão acerca da eficiência da contratação de energia elétrica, com base nos instrumentos contratuais existentes, a legislação setorial, as regras e os procedimentos de comercialização.

- Analisar o caso brasileiro, em face das especificidades do modelo de contratação, advindo com a edição da Lei 10.848/04.

Introdução

- Os contratos de comercialização de energia elétrica disciplinam os direitos e obrigações entre compradores e vendedores de energia elétrica.
- Estabelecem procedimentos comerciais.
- Fixam parâmetros técnicos a serem observados.
- Fixam penalidades a serem aplicadas em razão de não conformidade de execução contratual.

Introdução

- A Lei 10.848/04 alterou significativamente o marco regulatório do setor elétrico brasileiro.
- Os leilões passaram a ser o principal mecanismo utilizado para contratar o suprimento de energia elétrica para as distribuidoras.

Ambientes de comercialização

- A energia elétrica, com o advento da Lei 10.848/04, antes livremente comercializada, passou a ser comercializada em dois ambientes:
- Ambiente de Contratação Livre ,ACL, que dá continuidade às operações realizadas no denominado "mercado livre".
- Ambiente de Contratação Regulada, ACR , destinada às operações de compra e venda de energia para os agentes de distribuição.

Ambientes de comercialização

- Na contratação para o ACR, utiliza-se o mecanismo de leilões para determinar preços e montantes transacionados.
- As distribuidoras são obrigadas a comprar energia elétrica mediante processo licitatório.
- A contratação regulada é formalizada mediante a assinatura de um contrato bilateral denominado Contrato de comercialização de energia no Ambiente Regulado.

Contratos de Comercialização de Energia Elétrica - CCEAR

- Cabe a ANEEL promover, direta ou indiretamente, as licitações para a contratação de energia elétrica pelas distribuidoras.

- Os CCEARs podem ter de 15 a 30 anos, contados do início do suprimento de energia, quando se tratar de novos empreendimentos, ou de 5 a 15 anos, contados do ano seguinte ao da realização do leilão de compra, quando se tratar de energia existente.

Contratos de Comercialização de Energia Elétrica - CCEAR

- O CCEAR poderá ser celebrado na modalidade :
- quantidade de energia elétrica : os custos decorrentes dos riscos hidrológicos são assumidos pela geradora.
- disponibilidade de energia elétrica: os custos decorrentes dos riscos hidrológicos são assumidos pelos agentes compradores.

Recomposição de lastro de geração

- É o procedimento utilizado pelo gerador que não possui garantia física própria para honrar as obrigações contratuais assumidas no mercado.
- O CCEAR prevê a obrigatoriedade de recomposição de lastro para as seguintes situações:
- início de suprimento anterior a motorização que assegure a garantia física total do empreendimento;
- atraso na entrada em operação comercial ou indisponibilidade da usina, ou das unidades geradoras que compõem sua garantia física.

Penalidades

- O CCEAR por quantidade não estabelece penalidades contratuais para as ocorrências de atraso na entrada em operação comercial ou indisponibilidade da usina.
- Por sua vez, o CCEAR por disponibilidade prevê um conjunto de penalidades contratuais para as situações de indisponibilidade ou de atraso na entrada em operação comercial da usina.

Dinâmica Regulatória

- O primeiro leilão de energia existente ocorreu em dezembro de 2004.
- Verifica-se a existência nos contratos de muitos dispositivos de natureza regulatória, cujos efeitos transcendem a relação bilateral.
- Em parte, esse fenômeno é explicado pela exiguidade do tempo disponível para a finalização das regras e procedimentos atinentes à contratação.
- Constante pleito de agentes no sentido de contratualizar tudo quanto possível as relações objetos de escrutínio regulatório.

Conclusões

- A contratação de energia por meio de leilões proporciona uma estrutura flexível o suficiente para alcançar os objetivos de eficiência, de modicidade tarifária e garantia de oferta.

- Um dos desafios à consolidação de um mercado de energia eficiente no Brasil é o desenho de instrumentos contratuais que reduzam os custos de transação e minimizem os riscos para os participantes envolvidos.

Energias do Futuro
Júnia Roberta de Souza Pereira

Objetivos

- Realizar uma revisão do estado da arte das principais tecnologias de energia tendo como horizonte os períodos de 2030 a 2050.
- Analisar as tendências apontadas com relação à evolução do consumo de energia , desafios e oportunidades para o setor energético.

Tecnologias em energia

- ***Turbinas: óleo combustível e multicombustíveis.***
- A tecnologia já é é madura e comum no mundo.
- Destaque para tecnologias de controle e aumento de eficiência em turbinas duais (óleo combustível e gás natural).
- O desenvolvimento destas tecnologias flex tende a diminuir os riscos de suprimento e de preços.
- Novos materiais mais resistentes a temperatura para a construção de turbinas podem fazer com que haja um aumento da eficiência energética no futuro.

Tecnologias em energia

- As pesquisas nesta área são atualmente voltadas para a melhoria de eficiência na utilização dos combustíveis utilizados, incluindo a melhoria do monitoramento e controle operacional.

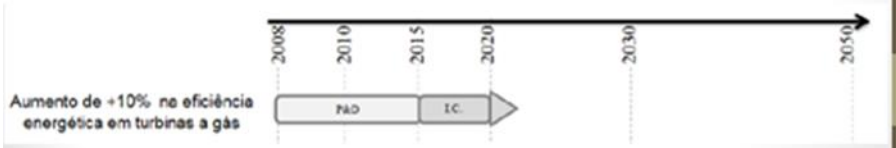
- Não há fabricante de turbinas a gás ou óleo combustível no Brasil.

Tecnologias em energia

- ***Usinas Termelétricas a Gás Natural em Ciclo Combinado***
- Turbinas a gás podem ser utilizadas em ciclo aberto, ou em ciclo combinado para melhores eficiências na geração de eletricidade.
- Turbinas a gás em ciclo combinado vêm sendo largamente utilizadas no mundo.
- Espera-se que até 2020 a eficiência alcance entre 70-75% em grandes turbinas, com a adoção de novos materiais (cerâmicos) e reaquecimento.

Tecnologias em energia

- A pesquisa de materiais que resistam a altíssimas temperaturas é importante para a melhoria de eficiência do ciclo.
- Para microturbinas, espera-se a partir de 2020 eficiências na ordem de 30-35% também devido à utilização de novos materiais.
- As pesquisas de usinas a gás natural em ciclo combinado se concentram no design das turbinas e melhorias de eficiência.



Tecnologias em energia

- ***Cogeração a gás natural***

- Esta tecnologia já pode ser considerada madura, com desenvolvimentos pontuais para a redução de custos e aumento gradual da eficiência.

- O desenvolvimento de novos materiais pode, num futuro próximo, fazer a eficiência global do sistema aumentar.

Tecnologias em energia

- No Brasil, a cogeração a gás natural não obteve ainda o desenvolvimento esperado por uma série de fatores, como por exemplo:

- A necessidade de importação de equipamentos;
- A falta de uma regulação específica para o setor;
- Preços do gás natural;
- Escassez temporária de gás natural;
- Falta de mecanismos de flexibilização de oferta e demanda de gás;
- Competição com eletricidade gerada basicamente através de hidrelétricas, cujo insumo básico é a água (custo variável=0).

Tecnologias em energia

- ***Carvão Pulverizado: usinas supercríticas e ultra supercríticas***

- A tecnologia usual na produção de eletricidade a partir de carvão pulverizado são as tecnologias subcríticas e supercríticas de carvão pulverizado.

- Esforços em pesquisa para materiais que suportem altas temperaturas e pressões na produção supercríticas e ultra supercríticas.

Tecnologias em energia

- ***Gaseificação integrada em ciclo combinado de carvão***

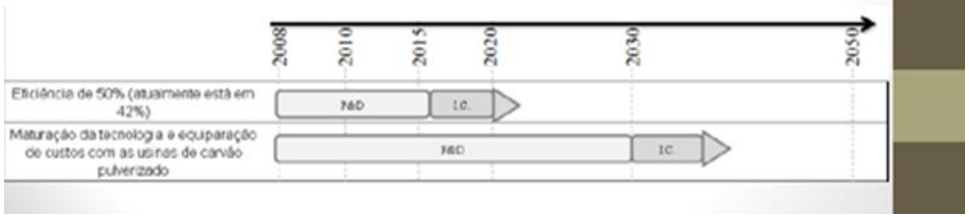
- A tecnologia de gaseificação de carvão em ciclo combinado possui basicamente quatro etapas:

- 1) Gás combustível é gerado através de combustível sólido (no caso o carvão) que reage com vapor a altas temperaturas com um oxidante num ambiente redutor;
- 2) O combustível gasoso é filtrado e limpo, removendo materiais particulados, enxofre e componentes de nitrogênio; ou é resfriado para produzir vapor e então ser limpo de maneira convencional;
- 3) O gás combustível é queimado numa turbina a gás para a produção de eletricidade;
- 4) O calor residual dos gases de exaustão proveniente da turbina é recuperado numa caldeira de recuperação (para gerar de vapor); o vapor adicional é utilizado na geração adicional de eletricidade numa turbina a vapor.

Tecnologias em energia

- É uma das tecnologias mais promissoras na geração de eletricidade que utiliza combustíveis sólidos e líquidos de baixa qualidade e é capaz de satisfazer as condições mais restritas de emissões de gases.

- A tecnologia está ainda num estágio inicial de desenvolvimento, com apenas duas plantas piloto nos EUA e Europa e mais uma em fase de conclusão no Japão.



Tecnologias em energia

- ***Carvão em leito fluidizado atmosférico circulante e pressurizado***

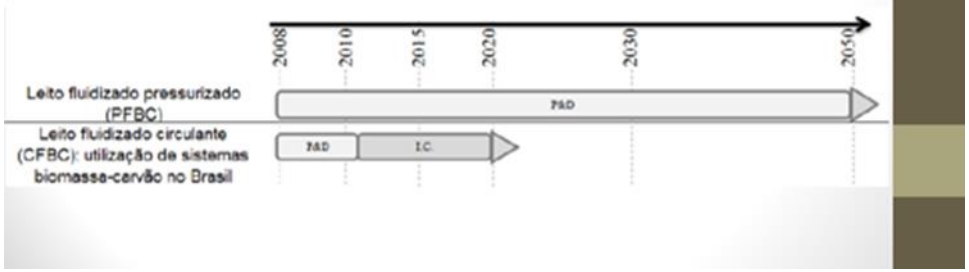
- Um leito fluidizado é composto pelo combustível e materiais do leito, como areia e cinzas na câmara de combustão.

- O leito se torna fluidizado quando ar sopra para cima numa velocidade suficiente para levantá-lo.

- A tecnologia de leito fluidizado circulante (CFBC) utiliza-se de altas velocidades relativas na fluidização do carvão; o material sólido é separado do gás nos ciclones quentes e recirculado.

Tecnologias em energia

- Outra opção, utilizada para a captura de CO2, é a operação do leito fluidizado com O2 (oxicombustão) ao invés de ar.
- Atualmente são competitivos apenas quando utilizados em conjunto (carvão e biomassa).



Tecnologias em energia

- ***Tecnologias de Reatores Nucleares Avançados: terceira e quarta gerações***

- As linhas de pesquisa no mundo sobre reatores são vastas e conduzidas em grande parte por empresas privadas.

- Entre 2010 e 2020, a energia nuclear poderá aumentar sua presença no mundo através da adoção da geração III de reatores de água leve.

- A chamada geração III+ utiliza reatores refrigerados a gás em altas temperaturas (*high–temperature gas-cooled reactors* – HTGCR) e já pode estar disponível a partir de 2015.

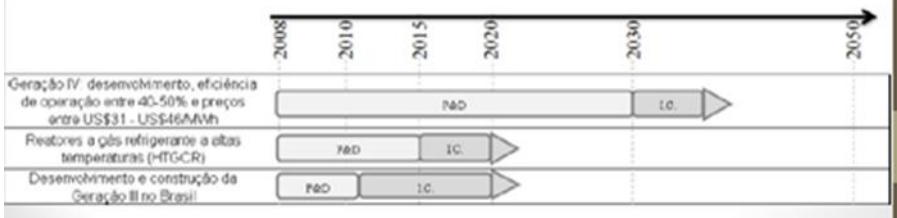
Tecnologias em energia

- Os tipos de reatores pesquisados da quarta geração são:

- 1) Reatores de sal derretido (*molten-salt reactors* –MSC);
- 2) Reatores de água supercríticas (*supercritical water reactor* – SCWR);
- 3) Reatores de temperaturas muito altas (*very high temperature reactors* – VHTR);
- 4) Reatores de alimentação rápida com metal líquido refrigerante (*liquid-metal-cooled fast reeder reactors* – LMCFR);
- 5) Reatores rápidos refrigerados a gás (*Gas-cooled fast reactor* - GCFR).

Tecnologias em energia

- A quarta geração (GEN-IV) é prevista para entrar em operação comercial a partir de 2030, com uma eficiência de operação entre 40-50%.
- A pesquisa de materiais que suportem altas temperaturas também é importante para o aumento da eficiência do ciclo nuclear.



Tecnologias em energia

- ***Produtividade do Ciclo do Combustível Nuclear: ciclos avançados***

- Tecnologias de ciclos de reatores novos podem estender as reservas provadas de urânio para 2500 anos.

- Ciclos avançados de combustível nuclear com alta queima e altas taxas de conversão estão sendo pesquisados em conjunto com a geração IV de reatores.

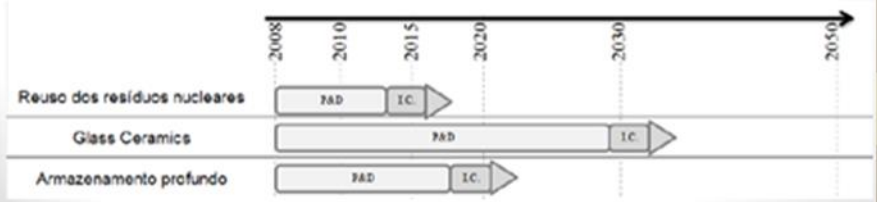
- Considerando-se também aspectos de reciclagem de combustível e gestão de resíduos atômicos.

Tecnologias em energia

- ***Gestão de resíduos nucleares***
- Duas estratégias diferentes estão sendo utilizadas para trabalhar o combustível nuclear gasto:
- O combustível gasto é reprocessado para extrair o material (urânio e plutônio) formando um combustível misturado novo.
- Na segunda estratégia, o combustível gasto é considerado como resíduo e armazenado durante a eliminação.

Tecnologias em energia

- A maioria dos países não decidiu ainda qual estratégia adotar.
- Atualmente estão armazenando o resíduo do combustível gasto e estão mantendo os desenvolvimentos associados com ambas alternativas.
- A transformação de resíduos nucleares em resíduos cerâmicos é outra opção que tem sido pesquisada.

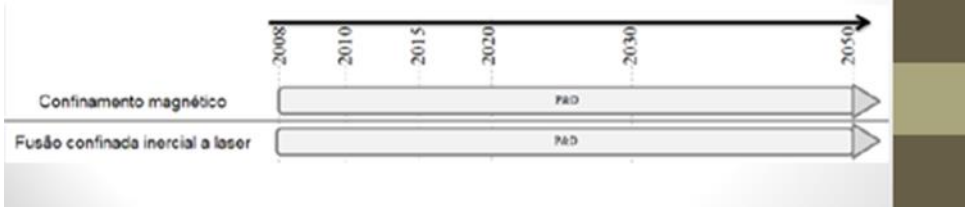


Tecnologias em energia

- ***Fusão Nuclear***
- Estudos extensivos têm mostrado que a fusão nuclear possui características inerentes de segurança e ambientais.
- Há pelo menos dois paradigmas tecnológicos atualmente: confinamento magnético e a laser.
- Se mostra uma alternativa de grande potencial para a geração de elevadas quantidades de energia no futuro (virtualmente inesgotável, segura e livre de emissões).

Tecnologias em energia

- Sua implantação em escala comercial, entretanto, não é vislumbrada até 2050.
- A comunidade internacional está apostando no desenvolvimento da fusão nuclear controlada.
- O Brasil já vem realizando pesquisas na área há cerca de 30 anos, com grupos de cientistas em várias instituições.



Tecnologias em energia

- ***Hidrogênio: células a combustível***

- Células a combustível (CaC) requerem ainda bastante atividade de PD&D para atingirem patamares de viabilidade comercial.

- Sistemas de CaC a gás natural para geração distribuída ou sistemas de back-up possuem atualmente projetos de demonstração e são utilizados em determinados nichos.

- Duas são as principais barreiras: aumento da eficiência das plantas e elevado custo de capital.

Tecnologias em energia

- ***Geração Hidráulica***

- O desenvolvimento de modelos para previsão e vazão dos reservatórios com base em modelos climáticos e meteorológicos, levando-se em consideração os usos múltiplos da água, é uma das áreas que merece crescente atenção.

Tecnologias em energia

- São necessários estudos nas seguintes áreas:

- Desenvolvimento e uso de modelagem;
- Monitoração e diagnóstico de hidrogeradores de grande e pequeno porte;
- Melhoramentos nos processos de construção;
- Recuperação e operação de barragens.

Tecnologias em energia

- **PCH**
- As pesquisas recentes tem focado na incorporação de novas tecnologias e métodos operacionaise, principalmente, na redução dos impactos ambientais, cuidados com peixes e uso da água.

- **Turbinas hidro cinéticas**
- Uma turbina hidro cinética funciona através da energia cinética que se origina da passagem de água pelo rotor.

- Propostas de pesquisa:
- Turbinas para baixas potências do tipo axial.
- Turbina hidro cinética axial com rotores em série.
- Turbina hidro cinética helicoidal.

Tecnologias em energia

- **Turbinas para baixa queda**
- Gargalos tecnológicos:

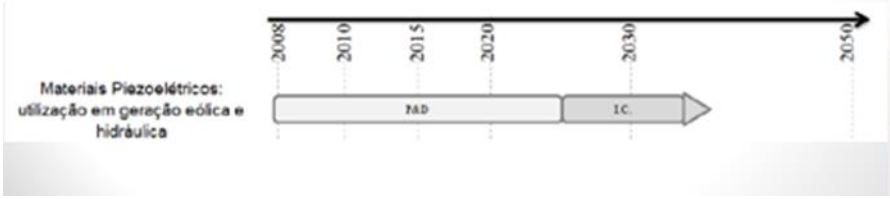
- Desenvolvimento de turbinas com altas rotações específicas fixas.
- Fornecimento de geradores com baixíssimas rotações e potencias menores.
- Desenvolvimento de dispositivos mais adequados para o barramento de cursos de água de baixas declividades.
- Estudo de turbinas amigáveis aos peixes.
- Estudos de mecanismos de transposição de peixes.
- Implantação de sistemas de controle e de alarme de cheia.
- Escassez de fornecedores com tecnologia confiável.
- Inexistência de instalações laboratoriais adequadas aos estudos e desenvolvimento de grupos geradores para centrais de baixas quedas.

Tecnologias em energia

- ***Materiais Piezoelétricos***
- O efeito piezoelétrico descreve a relação entre o estresse mecânico e de uma tensão elétrica nos sólidos.
- Uma alternativa tecnológica, chamada *piezoelectric power generation* (PEPG), está surgindo para conversão de calor a baixa temperatura em energia elétrica.
- Esta tecnologia opera sobre a teoria de uma expansão oscilatória do líquido-gás dentro de uma câmara fechada que força uma membrana *thin-film piezoelectric*, gerando, desse modo, uma tensão.

Tecnologias em energia

- Os maiores desafios técnicos para a tecnologia de geração PEPG são:
- Baixa eficiência de conversão de calor em energia elétrica (hoje é de apenas 1%);
- Alta impedância interna;
- Requisitos para a oscilação das cargas de calor;
- Confiabilidade e durabilidade a longo prazo;
- Alto custo (US$10.000/W).



Tecnologias em energia

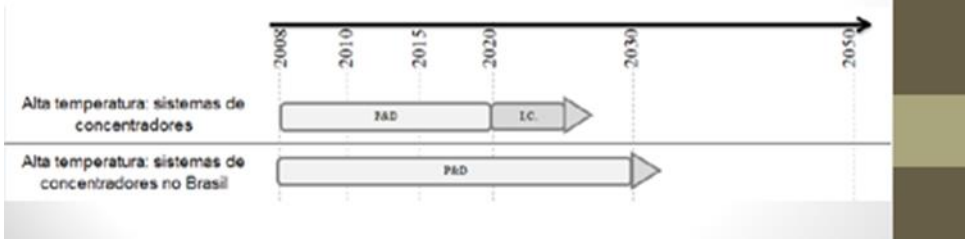
- Há ainda um conceito inovador recente que é um sistema solar integrado de ciclo combinado de potência: turbina a gás, e turbina a vapor, cujo vapor superaquecido é gerado a partir do calor dos gases de exaustão da turbina e da energia solar.

- Há também outras configurações e aplicações inovadoras, como a geração de hidrogênio (rota térmica e química), geração de gás de síntese para uso em turbinas a gás.

Tecnologias em energia

- Principais linhas de P&D:

- Melhorias nos concentradores;
- Aumento da escala das plantas;
- Sistemas de armazenamento.

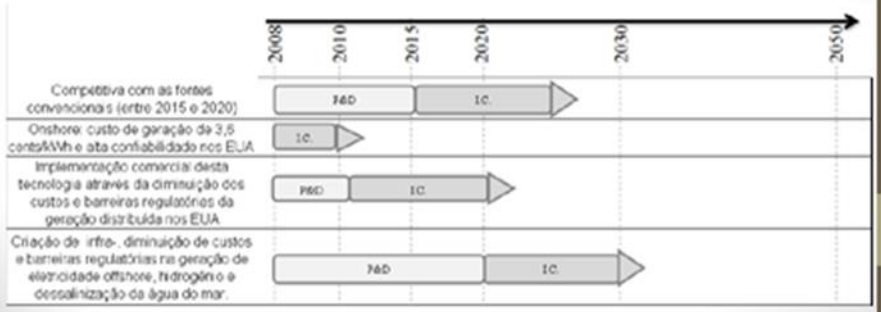


Tecnologias em energia

- ***Energia Eólica***
- Propostas de pesquisa:
- 1) Eletricidade Onshore: tecnologias de baixa velocidade, confiabilidade das turbinas e melhoria no desempenho.
- 2) Geração Distribuída: energia eólica em residências, fazendas e pequeno comércio.
- 3) Aplicações emergentes: usinas offshore, hidrogênio e água limpa.

Tecnologias em energia

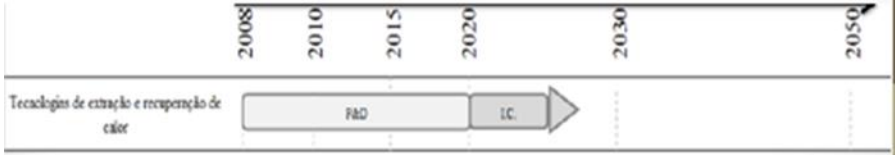
- Do ponto de vista tecnológico, o país ainda tem muito caminho pela frente: desenvolver tecnologias de torres, de pás, geradores e componentes.



Tecnologias em energia

- ***Energia Geotérmica***

- Sistemas Geotérmicos Avançados (*Enhanced Geothermal Systems*) ainda estão em fase experimental, mas possuem um enorme potencial para a recuperação da energia primária, beneficiando em grande medida tanto as aplicações diretas quanto indiretas.

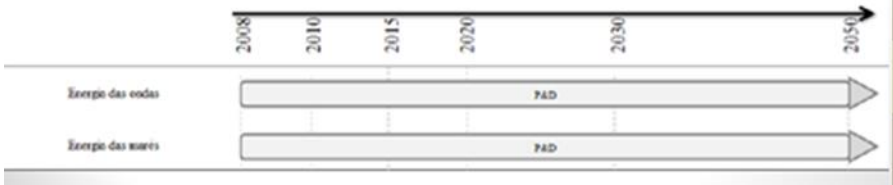


Tecnologias em energia

- ***Energia do Oceano: ondas e marés***

- Energia do oceano é uma indústria ainda em estágio inicial, no mundo e no Brasil em particular, com potencial elevado na produção de energia.

- Devido ao meio altamente corrosivo da água do mar, cuidados específicos devem ser tomados no projeto e desenvolvimento de equipamentos e materiais.



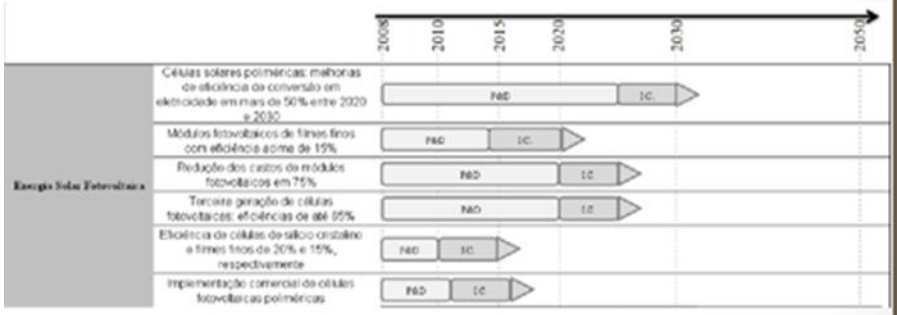
Tecnologias em energia

- ***Energia Solar Fotovoltaica***

- Dentre as tecnologias emergentes, estão as tecnologias avançadas de filmes finos inorgânicos, as células solares orgânicas e a geração termo fotovoltaica.

- Entre as novas, cujos limites teóricos de eficiência estão entre 50% e 60%, pode-se citar o desenvolvimento de novas camadas ativas para geração de eletricidade e o "ajustamento" do espectro solar para "turbinar" as células solares existentes, duas alternativas que envolvem a aplicação de nanotecnologia.

Tecnologias em energia



Tecnologias em energia

- ***Tecnologias de Exploração (petróleo e gás): sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites, perfuração***

- As principais linhas de pesquisa na área de exploração e produção de petróleo e gás natural no mundo são voltados para:

- Diagnóstico avançado e sistemas de imagens;
- Perfuração e recuperação avançada;
- Produção de óleo e gás em águas profundas e ultra profundas;
- Aumento da vida útil de reservatórios;
- Refino de derivados (inclui limites de enxofre e outras variáveis ambientais).

Tecnologias em energia

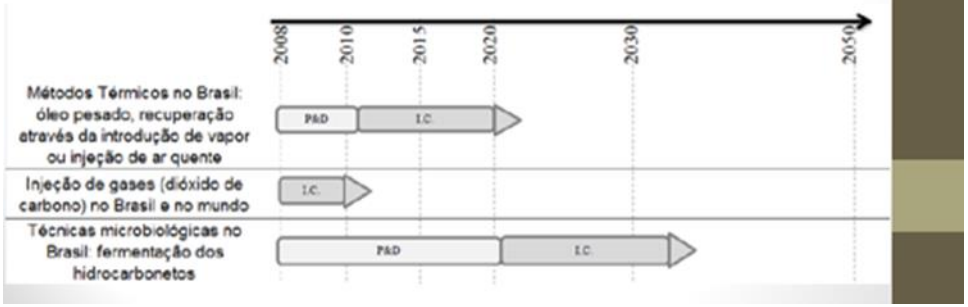
- Investimentos em pesquisas deveriam focar nas seguintes áreas:

- Sismologia;
- Diagnósticos de imagem avançados;
- Caracterização de reservatórios;
- Melhoria da imagem dos poços;
- Melhoria da capacidade de processamento de grande quantidade de dados.

Tecnologias em energia

- ***Tecnologias de Recuperação Avançada de Petróleo***

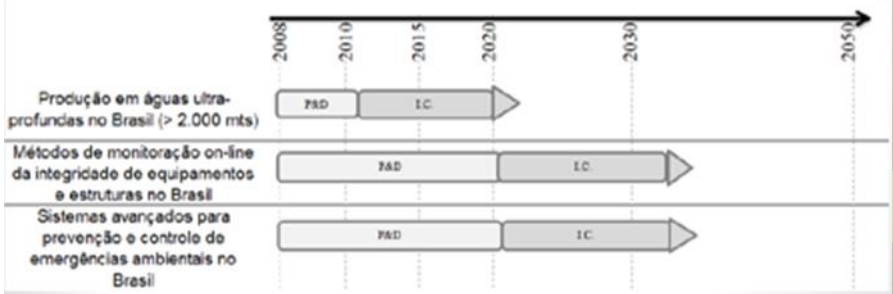
- A recuperação de petróleo em poços já conhecidos pode ser alcançada através algumas linhas de pesquisa, como os métodos químicos, métodos microbiais, métodos térmicos e injeção de gás.



Tecnologias em energia

- ***Tecnologias para produção de óleo e gás em águas profundas e ultra profundas***

- A meta de se produzir petróleo em lâmina de 3.000m exigirá adequações e inovações tecnológicas importantes.



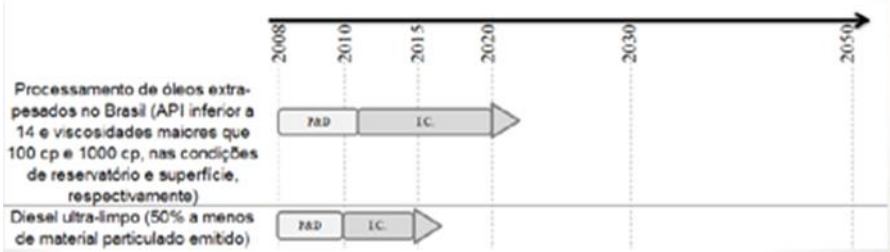
Tecnologias em energia

- ***Tecnologias de Refino de Petróleo***
- **Diesel ultra limpo**
- É um tipo de óleo Diesel com teores ultrabaixos de enxofre, altamente refinado para atingir altos padrões de limpeza, combustão completa e emissões baixas quando da sua utilização.
- A tecnologia de produção desse tipo de combustível deve avançar juntamente com tecnologias de motores a diesel.

Tecnologias em energia

- **Processamento de óleos extrapesados**

- Define-se óleo extrapesado como tendo grau API inferior a 14 e viscosidades maiores que 100 cp e 1000 cp, nas condições de reservatório e superfície, respectivamente.

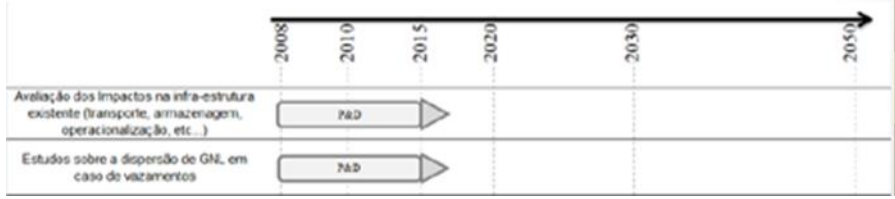


Tecnologias em energia

- ***Gás Natural Liquefeito (GNL)***

- Há ainda uma área em que a pesquisa em fase inicial, que é o armazenamento de GNL em cavernas de sal; este processo é conhecido como "Bishop Process".

- As preocupações gerais sobre o GNL são: qualidade do combustível, segurança e confiabilidade do GNL, impacto na infraestrutura existente, e padrões regulatórios internacionais.



Tecnologias em energia

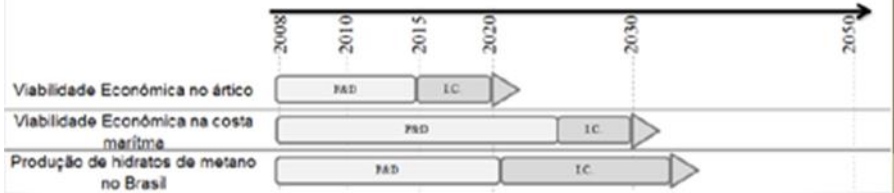
- ***Hidratos de Metano***

- Hidrato de metano é uma combinação cristalina entre moléculas de metano e moléculas de água, encontrada em regiões profundas do oceano.

- A energia proveniente dos hidratos de metano é imensa, possivelmente excedendo todos os outros combustíveis fósseis existentes.

Tecnologias em energia

- O desenvolvimento de novos materiais de alta dureza (para brocas), automação (para os dutos inteligentes) e equipamentos de medição e controle (sensores de alta resistência a temperatura e pressão), estão relacionados com o desenvolvimento desta tecnologia.



Tecnologias em energia

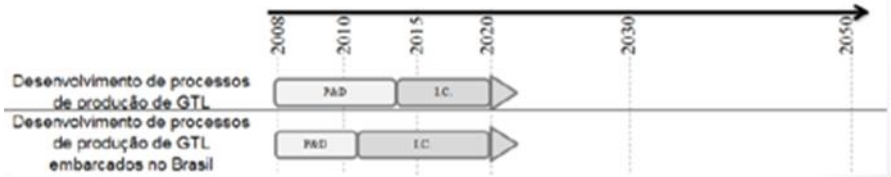
- ***Gas-to-Liquid (GTL)***

- *Gás To Liquid* (GTL) é o nome dado a uma série de processos e tecnologias utilizadas para converter gás natural em derivados de petróleo ou produtos petroquímicos.

- Através destas tecnologias, é possível transformar gás natural em diesel (processo Fischer-Tropsch), gasolina, querosene e produtos petroquímicos.

Tecnologias em energia

- Uma das maiores vantagens desta tecnologia é sua característica ambiental, já que os derivados produzidos praticamente não contêm enxofre.

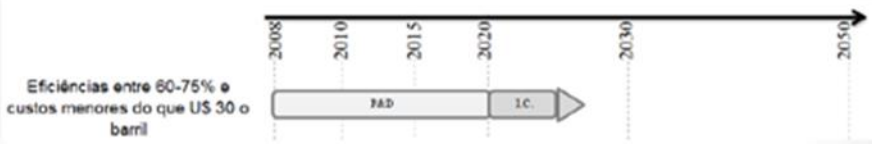


Tecnologias em energia

- ***Coal-to-Liquid (GTL)***
- *Coal-to-liquid* é um processo de conversão de carvão em combustíveis líquidos (como gasolina e diesel).
- O processo de produção pode ser através :
- Do processo Fischer-Tropsch (conversão de carvão em gás e depois em líquido);
- Ou através da liquefação direta, que consiste na reação do carvão com hidrogênio a alta temperatura e pressão para a produção de combustíveis líquidos a serem refinados.

Tecnologias em energia

- Pesquisa e desenvolvimento nesta área focam no aumento da eficiência e redução dos custos.



Tecnologias em energia

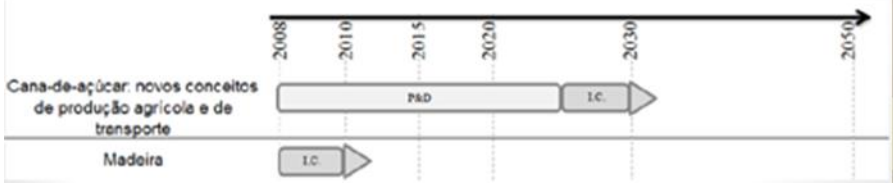
- ***Tecnologia de Produção Agrícola de "Biomassa Energética"***

- Há diversas oportunidades para aumentar a produtividade agrícola (cana-de-açúcar) e industrial (produção de etanol e eletricidade) através da introdução de novas tecnologias.

- Alguns exemplos podem ser mencionados, como a introdução das tecnologias de 2ª geração na produção de etanol, utilização de estruturas de tráfego controlado, plantio direto, utilização de tecnologia da informação, melhoramento genético, gaseificação da biomassa integrada ao sistema de cogeração.

Tecnologias em energia

- As principais barreiras para o uso da biomassa para fins energéticos são: custos, eficiência de conversão, custo de transporte, disponibilidade de matéria-prima (competição pela matéria-prima devido a seus múltiplos usos), falta de logística de suprimento, riscos associados ao uso intensivo da terra (fertilizantes, pesticidas, erosão, biodiversidade).



Tecnologias em energia

- ***Custo de produção de etanol celulósico (2ª geração)***

- As principais tecnologias com potencial de contribuição para a produtividade e sustentabilidade da cana-de-açúcar estão associadas com o melhoramento genético, a tecnologia da informação, as técnicas de plantio, os tratos culturais e a colheita.

- **Colheita**
- Desenvolvimento das colhedoras com corte simultâneo de duas linhas;
- Introdução das estruturas de tráfego controlado (ETC's) que viabilizam a introdução da técnica de plantio direto.

Tecnologias em energia

- **Tecnologias de Recuperação e Pré-processamento de Resíduos para Culturas de Grandes Volumes**
- As tecnologias para recolhimento da palha da cana ainda estão em desenvolvimento, e seu uso comercial ainda é incipiente no Brasil.
- Os custos de coleta e transporte dos resíduos são uma barreira importante.
- Os custos do bagaço e da palha de cana no Brasil são menores que os dos outros países que utilizam biomassa para energia.

Tecnologias em energia

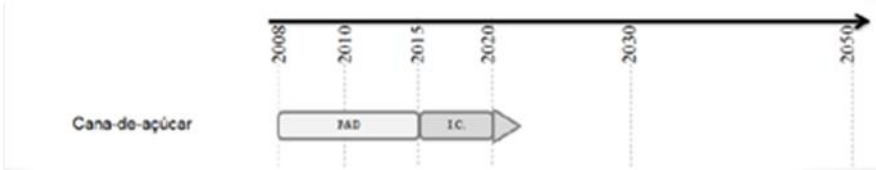
- **Custo e tecnologia: bagaço de cana e palha**

- Potencial do uso de bagaço e palha em uma usina de álcool é bastante alto e haverá competição no seu uso para :

- Queima direta em caldeiras;
- Produção de etanol a partir da hidrólise de lignocelulósicos (etanol de 2ª geração);
- Gaseificação integrada a ciclos combinados (BIG-CC) para geração de excedente de eletricidade ;
- Uso parcial da palha para fins agrícolas.

Tecnologias em energia

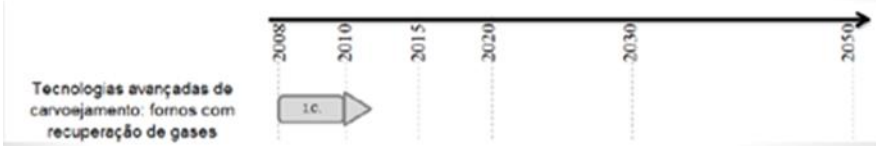
- Aumentando-se o escopo, a competição pela biomassa também se dará com o advento das biorefinarias (produção de combustíveis e materiais).



Tecnologias em energia

- ***Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento; pirólise***

- O Brasil destaca-se atualmente como "um dos poucos países que realizam P&D na área de produção e uso de carvão vegetal em escala significativa e que representa uma eficiência de cerca de 35%, muito alta se comparada à de vários outros países".

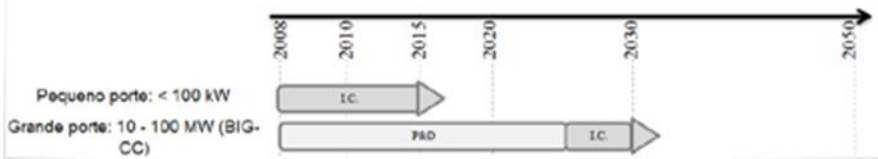


Tecnologias em energia

- ***Gasificação em Pequeno Porte (< 100 kW); Gasificação em Grande Porte (10 – 100 MW) com Ciclo Combinado***

- A gaseificação da biomassa pode viabilizar tanto a produção de combustíveis líquidos quanto a geração de eletricidade em larga escala.

- Nenhuma dessas alternativas está próxima de se tornar economicamente viável.



Tecnologias em energia

- Para a produção de eletricidade a partir da gaseificação da biomassa as três principais barreiras tecnológicas estão associadas à :

- (i) gaseificação de biomassa em larga escala, respeitadas determinadas especificações do gás combustível;
- (ii) limpeza do gás, de forma eficiente e a custos moderados, preferencialmente a quente (para que sejam evitados os
- custos e as perdas do resfriamento do gás previamente à limpeza);e
- (iii) operação eficiente das turbinas a gás com queima dos gases de gaseificação.

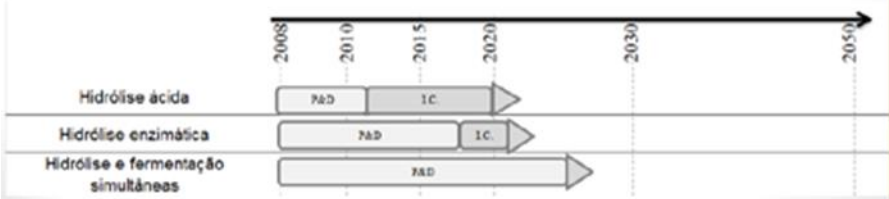
Tecnologias em energia

- **Tecnologias de Combustão Mista (biomassa com carvão e gás natural); Tecnologias de Combustão Avançadas (biomassa, incluindo resíduos)**
- Atualmente, no Brasil e em todo o mundo, somente sistemas a vapor são encontrados nas usinas de cana-de-açúcar.
- No Brasil são utilizados majoritariamente equipamentos de fabricação nacional.
- A tendência verificada junto aos fabricantes é o emprego de parâmetros mais elevados na geração de vapor, propiciando maior eficiência na geração elétrica.

Tecnologias em energia

- ***Co-firing: geração de eletricidade***

- O uso de co-firing com mistura de biomassa e combustíveis fósseis, como gás natural e carvão, poderia aumentar a participação mundial da biomassa na geração de eletricidade e, ao mesmo tempo, reduzir as emissões de gases precursores do efeito estufa.



Tecnologias em energia

- ***Tecnologias Novas para Produção de Etanol (2a. geração)***

- A Petrobrás anunciou que em 2012 produzirá etanol de segunda geração para exportação juntamente com a iniciativa privada.

- Alguns processos de hidrólise em estudo:
- - Hidrólise ácida organosolv, Processo DHR.
- - Hidrólise enzimática, Processo IOGEN.
- - Hidrólise e fermentação simultâneas (SSF).

Tecnologias em energia

- ***Tecnologias Novas para Produção de Biodiesel e H-bio***
- De modo geral, pode-se afirmar que o biodiesel é um produto comercial.
- De maneira simplificada, os processos de conversão de óleos vegetais em combustíveis podem usar transesterificação ou craqueamento.
- A catálise enzimática, que promete algumas vantagens como menos subprodutos, está em fase inicial de desenvolvimento.

Tecnologias em energia

- No entanto, a viabilidade para a produção massiva de biodiesel no Brasil dependerá fortemente de alguns fatores importantes:

- Aumento da produtividade agrícola de grãos (melhoramento genético e técnicas de manejo).
- Ampliação das fronteiras agrícolas e de modelos produtivos (Semiárido e reforma agrária privada).
- Aumento da eficiência da extração de óleo (maior rendimento e menor custo).
- Adequação das tecnologias atuais de produção de biodiesel aos insumos locais (óleo; álcool e catalisador).

Tecnologias em energia

- Reaproveitamento racional dos coprodutos (reuso e reciclagem de farelo e glicerina).
- Adequação da logística nos setores de grãos; óleo e biodiesel (produção; armazenamento, mistura e venda).
- Monitoramento e controle da qualidade dos insumos e produtos (Agências reguladoras e Laboratórios regionais).

Tecnologias em energia

- ***Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)***
- A produção de biogás a partir de resíduos sólidos urbanos é uma alternativa para o pré-tratamento dos resíduos e para geração de eletricidade, calor ou uso como combustível.
- O processo é feito através da digestão anaeróbica da matéria orgânica por bactérias.
- Tecnologicamente o processo de produção de biogás e seu uso são dominados.

Tecnologias em energia

- As tecnologias mais comuns empregadas para a produção de biogás são através da coleta do biogás por meio de dutos distribuídos no próprio aterro sanitário e de biodigestores anaeróbicos.
- O biogás produzido pode ser utilizado em turbinas a gás e ciclos combinados, sendo este último mais eficiente.
- A produção de eletricidade pode também ser realizada através da incineração dos resíduos.

Tecnologias em energia

- ***Energia Solar Térmica de Baixa Temperatura***
- O uso de energia solar para aquecimento a baixas temperaturas é feito com tecnologias comerciais em todo o mundo, especialmente para o aquecimento de água.
- É também utilizado para processos de secagem e refrigeração (sistemas de absorção).
- As tecnologias utilizam, em sua maior parte, coletores solares planos fechados ou abertos dependendo da temperatura desejada.

Tecnologias em energia

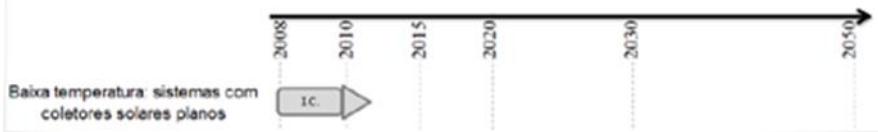
- Esse setor possui grande potencial para expansão no país e os principais desenvolvimentos deverão ser feitos compreendendo as seguintes áreas:

- Redução de custos: manufatura, materiais, qualidade da automação
- Aumento da eficiência de conversão: películas, tintas, isolamento, novas coberturas.
- Análise de componentes / sistemas completos.
- Novos tipos de coletores (tubos evacuados, concentradores estáticos.
- Suporte de engenharia a projetos: softwares, contratos de desempenho.
- Demonstração no sistema de habitação; pré-aquecimento industrial, hotéis, escolas, etc.
- Capacitação de profissionais.

Tecnologias em energia

- Há a necessidade de continuação de atividades de P&D para as tecnologias comercialmente existentes e para as novas, assim como demonstração de novos sistemas/conceitos.

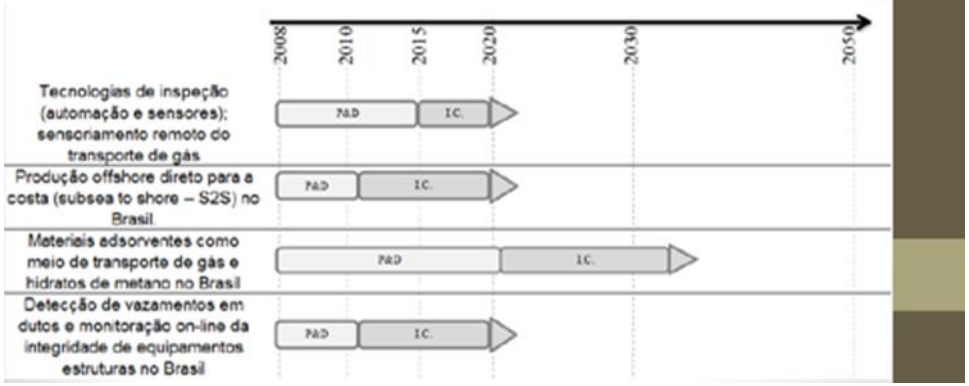
- São necessárias, em especial, maiores pesquisas em aquecedores solares de baixo custo (durabilidade, segurança, desempenho energético e fitossanitário, por exemplo).



Tecnologias em energia

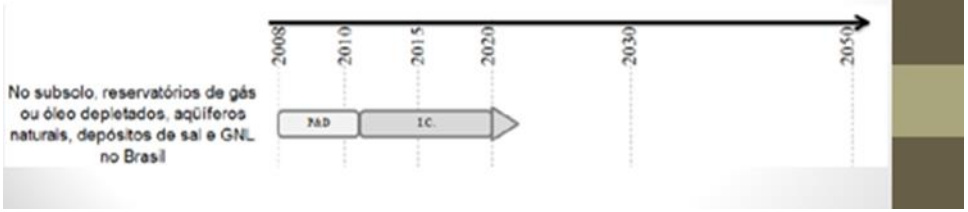
- ***Transmissão e Distribuição de Gás Natural***

- Por se tratarem de tecnologias em sua maioria maturadas, esforços de P&D se concentram em empresas privadas.



Tecnologias em energia

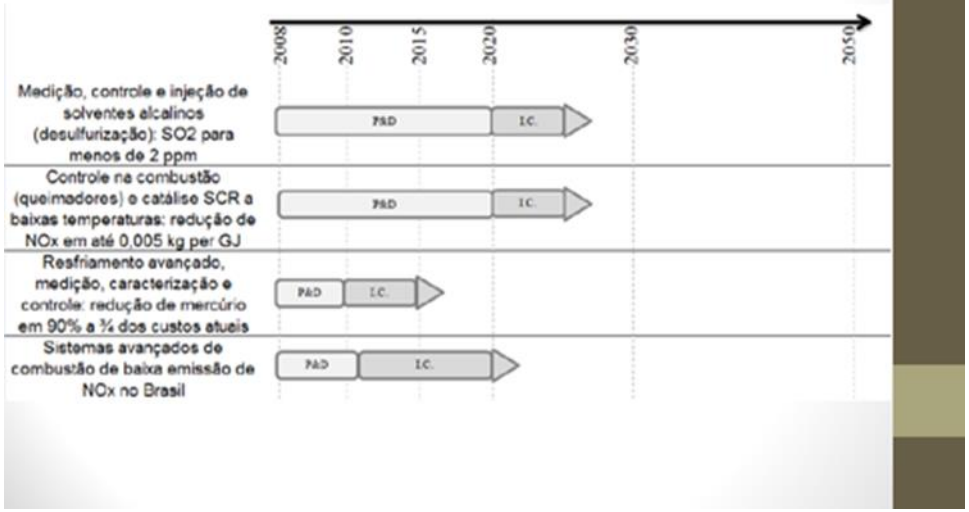
- ***Armazenamento de Gás Natural***
- O gás natural pode ser armazenado de diversas formas.
- A mais comum é no subsolo, em reservatórios de gás ou óleo depletados, aqüíferos naturais, ou em cavidades criadas em grandes depósitos de sal.



Tecnologias em energia

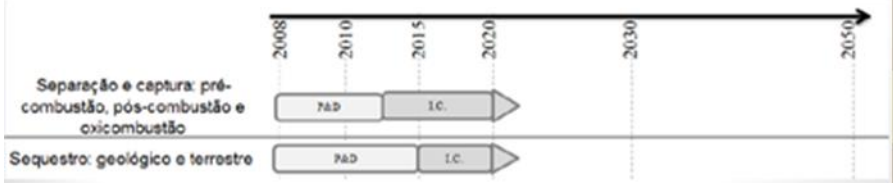
- ***Queimadores Combustíveis e Controle de Emissões***
- O foco nas pesquisas está ligada na queima eficiente do combustível, nível de emissões e uso de multicombutíveis.
- Isto inclui tecnologias de monitoramento e controle automáticos (sensores), dependendo do tipo e qualidade do combustível.
- O desenvolvimento desta tecnologia beneficia diretamente o meio-ambiente, através da diminuição de emissões através de queimas mais completas, auxiliado por processos de redução de emissões pré e pós-combustão.

Tecnologias em energia



Tecnologias em energia

- ***Separação, Captura e Sequestro de Carbono***
- O sequestro de carbono se inicia com a separação e captura de CO_2 de usinas termelétricas e outras fontes estacionárias.
- A captura pode ser realizada através dos processos de pós-combustão, pré-combustão e também oxicombustão.



Tecnologias em energia

- Com relação a P&D na área de captura de carbono (IEA, 2006) destaca-se as seguintes opções conforme a tecnologia de geração:

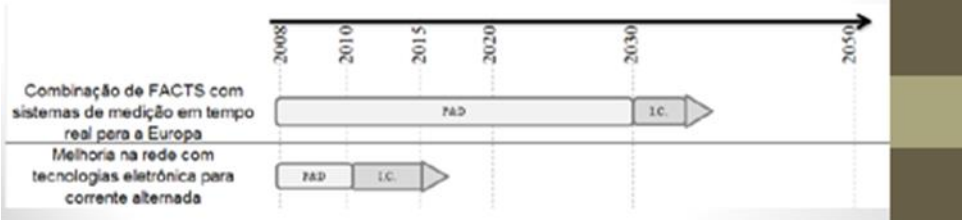
- Usinas a carvão pulverizado supercríticas com a separação de CO2 nos gases de escape;
- Usinas a carvão pulverizado supercríticas com oxicombustão;
- Gaseificação integrada em ciclo combinado de carvão;
- Gás natural em ciclo combinado com captura de carbono.

Tecnologias em energia

- ***FACTS - Flexible AC Transmission Systems***

- O conceito de sistemas com fluxos de potência controláveis, são dispositivos para o controle dos fluxos nas redes de energia elétrica.

- Estes dispositivos são pesquisados com dois objetivos principais:
- (i) aumentar a capacidade de transmissão de potência das redes;
- (ii) controlar diretamente o fluxo de potência em rotas específicas de transmissão.



Tecnologias em energia

- A aplicação da tecnologia FACTS na distribuição possibilita benefícios tais como:

- Flexibilização do uso da rede;
- Operação de linhas em paralelo;
- Direcionamento do fluxo de potência por caminhos mais adequados;
- Ajustar continuamente o suporte de reativos durante a operação;
- Condicionamento da qualidade da energia elétrica às restrições das normas vigentes;
- Controle dinâmico do fluxo de potência;
- Otimização dos ativos da empresa, visto que permite a operação com o máximo carregamento dos seus equipamentos.

Tecnologias em energia

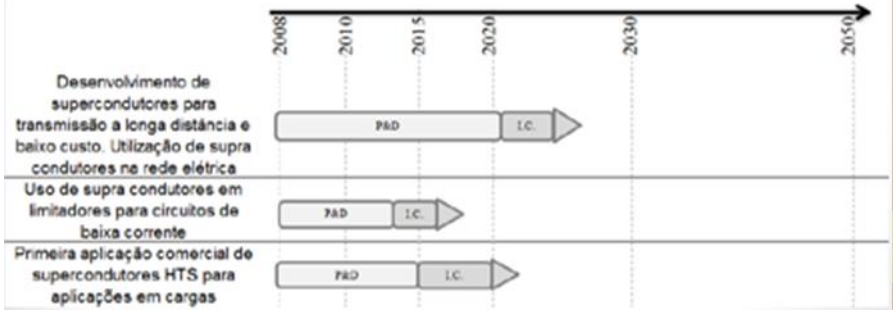
- ***Supercondutores***

- São divididos em dois tipos, que se diferenciam pelo nível de temperatura para atingir a supercondutividade:

- *Low Temperatures Superconductors(LTS)*
- A maior aplicação comercial para esses supercondutores é na área de saúde para ressonância magnética.

Tecnologias em energia

- *High Temperatures Superconductors (HTS)*
  - Cabos para transmissão HTS
  - Transformadores HTS

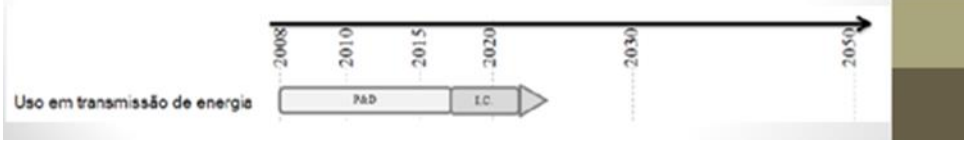


Tecnologias em energia

- ***Nanotecnologia de carbono***

- As aplicações de nanotubos de carbono na confecção de condutores elétricos possibilitam maior eficiência e a aplicação em maiores distâncias que os condutores de cobre e alumínio utilizados atualmente.

- Esses condutores permitirão transmitir energias renováveis, por exemplo, solar e eólica, de locais distantes para grandes centros consumidores e até de continente para continente.



Tecnologias em energia

- ***Redes Inteligentes***

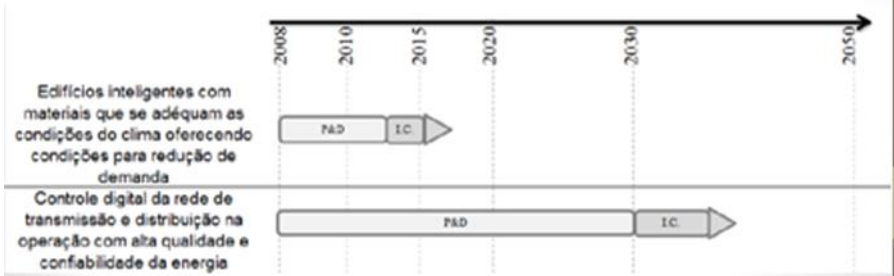
- A aplicação de redes inteligentes gera ganhos com eficiência energética e geração distribuída, de maneira que esses ganhos deveriam ser considerados na tarifa como forma de incentivar as empresas a investirem nessas tecnologias.

- O gerenciamento das redes inteligentes podem ser executados por controle digital, análise dos problemas em tempo real e chaves automatizadas.

- Essas tecnologias possibilitarão os equipamentos da rede tomar decisões e resolver os problemas, cujas soluções estarão previamente programadas.

Tecnologias em energia

- Essas tecnologias podem ser mais sofisticadas na medida em que vai se agregando sistemas de controle digitais e seus custos geometricamente agregados.



Tecnologias em energia

- ***Sistemas de Armazenagem***

- Bateria Lead-Acid
- Bateria Li-Ion -Lithium Ion
- Bateria Metal-Air
- Bateria NaS -Sodium Sulfur
- PSB - Polysulfide Bromide Flow Battery
- Super Capacitor
- Bateria VRB -Vanadium Redox Flow Battery
- Baterias ZnBr -Zinc Bromine Flow Battery
- Flywheels

Tecnologias em energia

- ***High Voltage Direct Current (HVDC)***
- Os sistemas HVDC oferecem um número de vantagens adicionais sobre os sistemas de C.A.:
- São mais fáceis de controlar, e consequentemente melhor para as concessionárias de T&D.
- Requerem menos espaço para as redes. Situação bastante sensível em áreas de preservação ambiental, tais como parques nacionais.

Tecnologias em energia

- Estas vantagens sugerem que a HVDC poderá ser o sistemas de T&D cada vez mais escolhido para os novos empreendimentos que estão sendo construídos.

- Entretanto, a C.C. tem também desvantagens. Por exemplo, a sincronização não é possível, o que significa que uma falha em uma parte da linha não pode receber a ajuda de outra parte.

Tecnologias em energia

- ***Produção e Armazenamento de Hidrogênio como Vetor Energético***

Produção

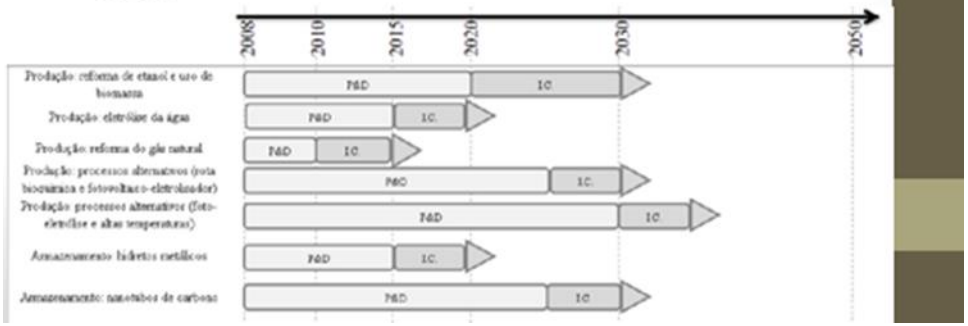
- Prioridades em materiais para células a combustível: catalisadores, eletrólitos, anodo, catodo, interconectores, selantes, processos e materiais para produção e purificação de hidrogênio, sistemas de armazenamento.

- Para que o hidrogênio produzido seja utilizado comercialmente para fins energéticos, as tecnologias atuais de produção de hidrogênio necessitam de redução de seus custos e de melhoria da eficiência significativas.

Tecnologias em energia

- **Armazenamento**

- Em transportes e aplicações portáteis é um dos principais desafios para a economia do hidrogênio pelas temperaturas e pressões requeridas, o que demanda muita energia, instalações especiais e, consequentemente, possuem elevados custos.



Tecnologias em energia

- ***Veículos: demanda futura por combustíveis (tipo de combustível, eletricidade e hidrogênio)***

- Necessidade de desenvolver novas tecnologias que melhorem a utilização dos derivados do petróleo, melhorando a eficiência de sua queima e redução na emissão de gases enquanto novas tecnologias não se tornem reais.

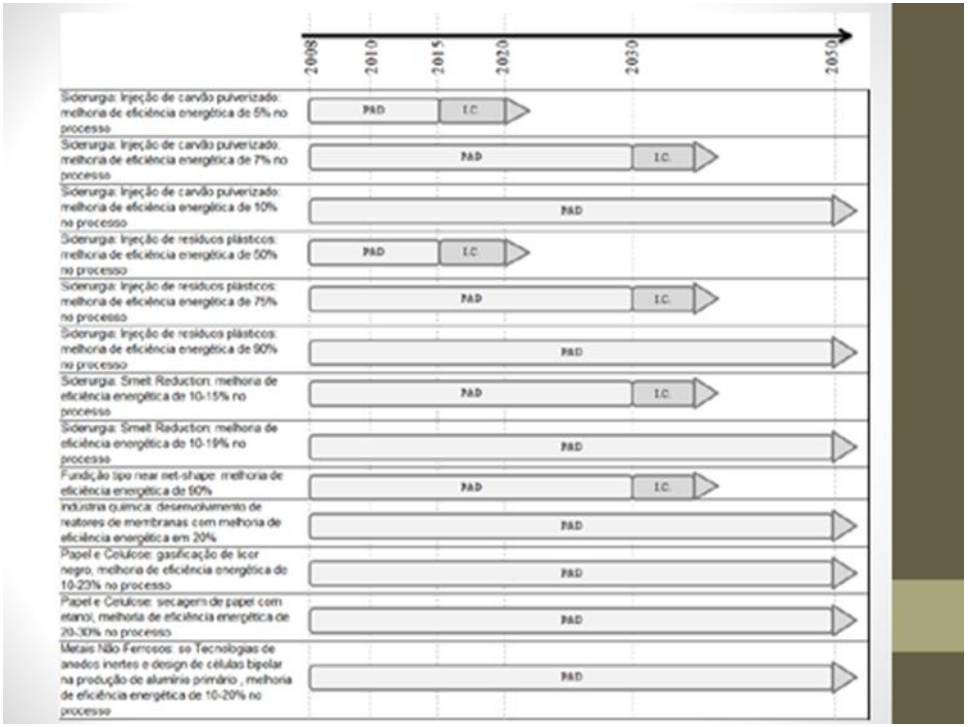
- Tecnologias a serem pesquisadas para desenvolvimento:
- Veículos de combustão interna à gasolina;
- Veículos híbridos;
- Trem híbrido;
- Células a combustível;
- Trens magnéticos.

Tecnologias em energia

- ***Usos Finais: Indústria***

- Inúmeras tecnologias estão sendo desenvolvidas, demonstradas e adotadas no setor industrial. Tecnologias como:

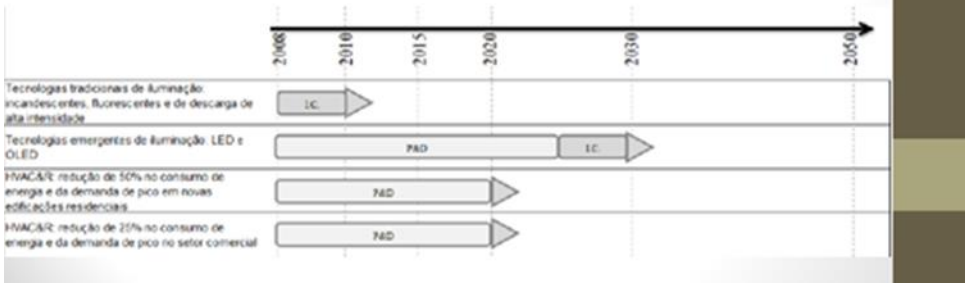
- "Smelt reduction" (utilização de finos de minério de ferro ao invés de aglomerados no processo de redução) ;
- "Near net-shape casting" (fundição próxima da especificação final) na indústria de aço;
- Novas membranas de separação;
- Gasificação de licor negro ;
- Cogeração avançada.


2008
2010
2015
2020
2030
2050
Siderurgia: Injeção de carvão pulverizado: melhoria de eficiência energética de 5% no processo
P&D
I.C.
Siderurgia: Injeção de carvão pulverizado: melhoria de eficiência energética de 7% no processo
P&D
I.C.
Siderurgia: Injeção de carvão pulverizado: melhoria de eficiência energética de 10% no processo
P&D
Siderurgia: Injeção de resíduos plásticos: melhoria de eficiência energética de 50% no processo
P&D
I.C.
Siderurgia: Injeção de resíduos plásticos: melhoria de eficiência energética de 75% no processo
P&D
I.C.
Siderurgia: Injeção de resíduos plásticos: melhoria de eficiência energética de 90% no processo
P&D
Siderurgia: Smelt Reduction: melhoria de eficiência energética de 10-15% no processo
P&D
I.C.
Siderurgia: Smelt Reduction: melhoria de eficiência energética de 10-19% no processo
P&D
Fundição tipo near net-shape: melhoria de eficiência energética de 90%
P&D
I.C.
Indústria química: desenvolvimento de reatores de membranas com melhoria de eficiência energética em 20%
P&D
Papel e Celulose: gasificação de licor negro, melhoria de eficiência energética de 10-23% no processo
P&D
Papel e Celulose: secagem de papel com etanol, melhoria de eficiência energética de 20-30% no processo
P&D
Metais Não Ferrosos: os Tecnologias de anodos inertes e design de células bipolar na produção de alumínio primário , melhoria de eficiência energética de 10-20% no processo
P&D

Tecnologias em energia

- ***Usos Finais: setor comercial, residencial e de serviços***

- Condicionamento de ar, refrigeração, aquecimento e iluminação são os principais usos finais em edificações comerciais, de serviços e residenciais.



Tecnologias em energia

- ***Edificações***

- Em relação à redução do consumo de recursos naturais, algumas metas estabelecidas para 2030 são:

- Redução de 50% da energia contida em materiais de construção;
- Redução de mais de 30% do emprego de matérias-primas;
- Redução de mais de 40% da geração de resíduos nos processos de produção de materiais de construção e componentes;
- Menos de 1% dos resíduos de construção destinados para descarte em aterros;
- Esforços para garantir que 100% dos novos materiais de construção sejam recicláveis e que 100% dos resíduos de construção e demolição sejam reutilizados.

Tecnologias em energia

- Foram escolhidos os seguintes critérios para indicar os "desafios" para a sociedade se não houver mudanças ou melhoramentos no padrão tecnológico adotada atualmente:

- Situação das reservas
- Aspectos Sociais e Regionais
- Qualidade do ar
- Saúde e segurança públicas
- Uso da terra e água e ameaças à biodiversidade
- Mudanças climáticas

Tecnologias em energia

Fontes Primárias	*Áreas de problemas*					
	Situação de reservas	Aspectos sociais e regionais	Qualidade do ar	Saúde e segurança públicas	Uso de terra, biodiversidade e água	Mudanças climáticas
Petróleo						
Gás Natural						
Carvão						
Energia Hidráulica						
Biomassa						
Energia Solar						
Energia Eólica						
Energia Nuclear						

Menos → Mais

A demanda futura de energia

- **Fontes fósseis**

- Mais importante que as preocupações relacionadas com restrições ou limitações de oferta, são as considerações ambientais que hoje em dia dominam os desafios a serem enfrentados pelos combustíveis fósseis.

A demanda futura de energia

Demanda de energia primária no mundo 2015, 2030 (MTep) – cenário de referência

Fontes	2005	2015	2030	2005-2030 taxa anual (%)
carvão	2892	3988	4994	2,2
petróleo	4000	4720	5585	1,3
gás natural	2354	3044	3948	2,1
nuclear	721	804	854	0,7
hidráulica	251	327	416	2,0
biomassa e resíduos	1149	1334	1615	1,4
outros renováveis	61	145	308	6,7
Total	11429	14361	17721	1,8

Fonte: IEA, 2007d.

A demanda futura de energia

- ***Fontes renováveis***

- Existe necessidade de mais P&D e demonstração:

- Avanços em áreas de armazenamento de energia;
- Adaptação técnica e gestão dos sistemas de transmissão e distribuição convencionais (eletricidade, gás e combustíveis líquidos) ;
- Novos materiais são necessários para aumentar a competitividade das novas tecnologias de fontes renováveis.

A demanda futura de energia

- ***Usos Finais***

- Praticamente todos os estudos indicam, em maior ou menor grau, uma profunda transformação na infraestrutura de consumo de energia, ou seja, nas tecnologias de uso final.

- Nos setores industrial, de transportes, residencial e comercial é observada a tendência de maior participação de fontes de melhor qualidade e ambientalmente melhores.

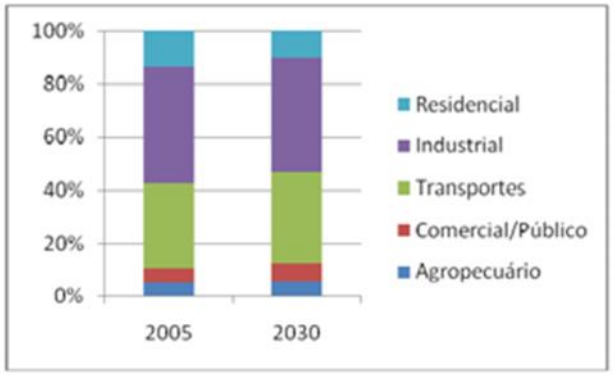
- A importância de melhor a eficiência de uso de energia é destacada em diversos estudos, sendo importante, não só para diminuição da intensidade energia da economia mundial, mas também da intensidade de emissões de carbono.

A demanda futura de energia

- **Tendências do consumo de energia no Brasil**
- Se observa a tendência global de aumento da participação de combustíveis líquidos, eletricidade e gás natural no perfil de consumo final de energia do Brasil.
- O maior uso do carvão mineral na siderurgia está sendo previsto e é uma exceção à tendência na direção de matrizes menos intensivas em carbono e combustíveis sólidos.
- As projeções indicam a prevalência dos combustíveis líquidos no consumo final de energia do Brasil.

A demanda futura de energia

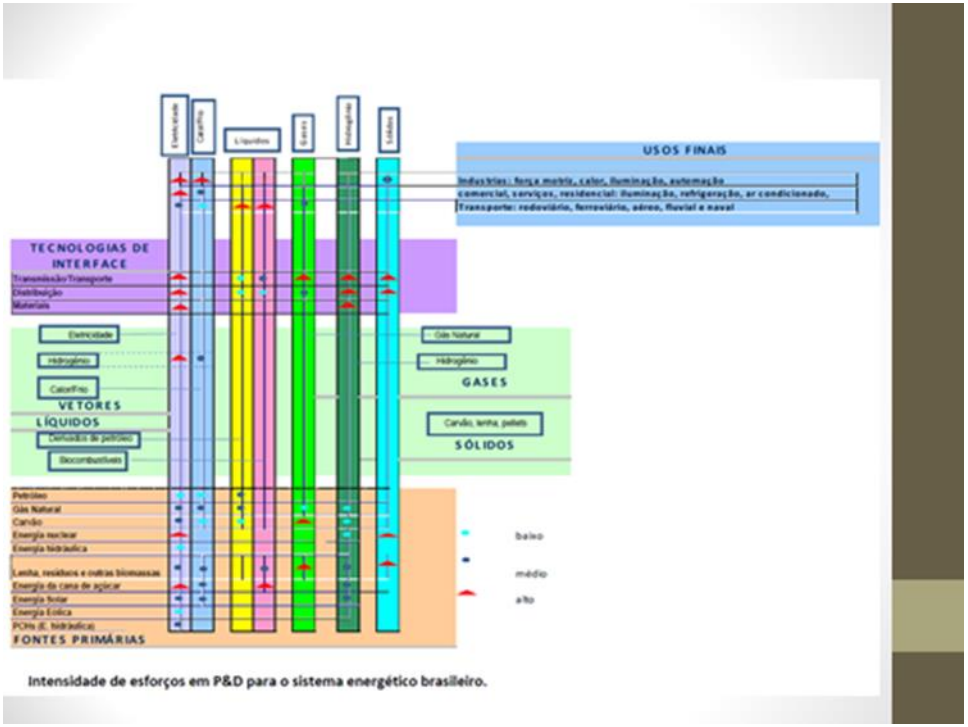
- O consumo de energia permanecerá concentrado nos setores de transporte e industrial.



A estrutura de consumo final de energia por setores 2005, 2030 (%)

Conclusões

- Esforços de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de interesse comum deveriam ser realizados nos seguintes temas:
- 1) Materiais: materiais mais resistentes, mais leves, que suportem temperaturas e pressões elevadas, e que sejam mais resistentes à fadiga, abrasão e corrosão.
- 2) Sensores e automação: sistemas integrados de monitoramento e controle inteligentes;
- 3) Combustão: queimadores para a geração de eletricidade, indústria e residências;
- 4) Regulação: regulação tarifária, técnica e mitigação do risco regulatório.



Intensidade de esforços em P&D para o sistema energético brasileiro.

Referências

- Energias do Futuro. CGEE- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

Estado da Arte e Tendências das Tecnologias para Energia
Júnia Roberta de Souza Pereira

Cenários: o suprimento de energia até 2020, no mundo

- Uso de cenários: pretende apenas servir como indicador na seleção de tecnologias.
- O uso de cenários é particularmente interessante por explicitar claramente as hipóteses.

Cenários: o suprimento de energia até 2020, no mundo

- ***IIASA-WEC: Cenários para 2000-2100***

- De modo muito "agregado", os seis cenários IIASA-WEC representam:
- **Cenário A:** grande desenvolvimento tecnológico e crescimento econômico, no mundo;
- **A1** com abundância de petróleo e gás natural;
- **A2** limitando as reservas de óleo e gás às atuais (e aumentando muito o uso de carvão), e ;
- **A3** com domínio de energia nuclear e renovável, eliminando os fósseis até 2100.

Cenários: o suprimento de energia até 2020, no mundo

- **Cenário B:** Avanços tecnológicos e crescimento econômico mais moderados; desigual nos países menos desenvolvidos.

- **Cenário C:** Dominado por restrições ecológicas, conservação e uso eficiente de energia, com grande avanço tecnológico e econômico;
- **C1** muito mais dependente de novos reatores nucleares (seguros), e ;
- **C2** de energia renovável.

Cenários: o suprimento de energia até 2020, no mundo

Cenários IIASA-WEC

	Cenários A		Cenário B		Cenários C	
	2000	**2030**	**2000**	**2030**	**2000**	**2030**
Energia Primária (10^{12} Btu)	400	740	400	620	390	440
Energia Elétrica (10^{3} TWh)	15	28	14	23,5	13	18
Emissão liquida de CO_2 (10^{3} Mt carbono)	6,8(A3) 7,1(A2)	8,7(A3) 11,7(A2)	6,3	8,7	6	6

Cenários: o suprimento de energia até 2020, no mundo

- ***Um cenário "básico" (DoE, EUA) para os próximos vinte anos***
- As demandas globais de energia (total e elétrica) devem crescer 78% e 92%, respectivamente entre 1996 e 2020 (previsão do cenário básico).
- O investimento global necessário para o suprimento de energia será de US$ 400 – 600 bilhões/ano entre 1990 – 2020.
- Este investimento será feito em um conjunto de tecnologias - fóssil, renovável, nuclear – muito diversificado.
- Hoje três quarto do total são de origem fóssil, e estes serão ainda os principais até 2020.

Cenários: o suprimento de energia até 2020, no mundo

- Dos aumentos em energia global e elétrica até 2020, apenas 9 e 12%, respectivamente, ocorrerão nos EUA.
- A grande maioria virá de países em desenvolvimento.
- Os riscos associados ao suprimento e aos impactos no meio ambiente farão crescer o interesse em combustíveis "limpos" (de biomassa, ou gás natural).
- Gás natural é a fonte fóssil mais promissora: são necessários grandes investimentos em infra estrutura e acordos internacionais complexos.

Cenários: o suprimento de energia até 2020, no mundo

- O avanço no uso de energia nuclear continuará a ser limitado pelas implicações na segurança.
- Energias renováveis deverão suprir uma fração crescente da demanda.
- O crescimento econômico e a proteção ao meio ambiente serão os principais motivadores de mudanças/crescimento no setor energético.
- Sustentabilidade será o conceito mais utilizado nestas mudanças.

Tecnologias para o suprimento de energia elétrica

Perspectivas no mundo e no Brasil, 2020 e 2030; tecnologias, custos, limitações.

Energia fóssil

- Uma tendência observada é um grande aumento na geração com gás natural nos países desenvolvidos.
- O uso do carvão aumentará substancialmente nos países em desenvolvimento (notadamente, na China e Índia).
- No médio prazo (2010-2020), novas tecnologias "limpas" permitirão a volta de carvão nos países desenvolvidos.
- A pesquisa em "tecnologias limpas" para carvão tem sido estimulada.

Energia fóssil

- Crescente importância da geração distribuída, contando com o desenvolvimento de unidades geradoras pequenas (turbinas a gás e/ou célula a combustível).
- Em qualquer das rotas o desenvolvimento da tecnologia de turbinas a gás (maior eficiência, confiabilidade; menos custos) é essencial para a geração termelétrica.
- Na perspectiva global, o desenvolvimento de tecnologias para energia fóssil será condicionado pela segurança de suprimento e pelas restrições ambientais.

Energia fóssil

- No nível de conhecimento atual, as melhores perspectivas são para tecnologias envolvendo a produção intermediária de gás de síntese (CO, H2), a partir de GN ou carvão, e buscar, sempre que possível, configurações onde se pratique cogeração.

Tecnologias para geração com gás natural

- Uma visão dos desenvolvimentos (previstos ou desejados) nas turbinas e sistemas para gás natural indica:
- Turbinas de grande potência (heavy-frame): a tecnologia hoje (classe FFA) admite 1260-1315C, com 56-57% de eficiência (PCI) em ciclo combinado;
- Até 2020, reaquecimento (1260 C), controle de NOx e materiais novos; h=~70%;

Tecnologias para geração com gás natural

- Materiais avançados (base, "coatings") e resfriamento dos componentes: alguns programas deverão ir até 2050;
- Uso de ciclos na base ("bottoming"), tipo Kalina, para aumentar a eficiência dos ciclos combinados: pode vir a ser viável economicamente (2015);
- Unidades flexíveis, tamanho médio (20-100 MW) para uso em picos de demanda; com inter-resfriamento e recuperação na compressão poderiam atingir h=65% (2010-2020) e 70% (>2020);

Tecnologias para geração com gás natural

- Ciclos híbridos:
- Turbina a gás associada a célula de combustível: 5-20MW, 70-80% eficiência: 2020;
- Turbina a gás + várias tecnologias de energia renovável (solar térmico: 2010);
- Turbinas a gás + armazenamento em ar comprimido (CAES): antes de 2010;
- Gasificação de resíduos para uso em ciclos combinados;

Tecnologias para geração com gás natural

- Tanto para carvão quanto para gás natural, a preocupação com as emissões de CO_2 é crescente.
- Tecnologias para remoção do CO_2 dos sistemas de potência com gás natural estão começando a ser consideradas, mas claramente são vistas como uma enorme dificuldade.
- Há uma forte tendência para a geração distribuída com GN, a partir do desenvolvimento de microturbinas e células a combustível.

Tecnologias para geração com carvão

- Não há novas plantas para carvão (EUA e Europa) em planejamento; há várias na Ásia.
- A tendência mundial, principalmente na Ásia, é aumentar significativamente a geração com carvão nos próximos anos.
- Há desenvolvimento tecnológico para sistemas "limpos", com exceção de emissões de CO2, que seriam "reduzidas" com uso simultâneo de renováveis, aumentos de eficiência, ou, a longo prazo, sequestro do CO2.

Tecnologias para geração com carvão

- Três rotas tecnológicas principais são planejadas nos EUA:
- Caldeiras para carvão pulverizado (PC) ultra supercríticas.
- Combustão em leito fluidizado pressurizado (PFBC).
- Gasificação integrada com ciclo combinado (IGCC).
- Finalmente, carvão está sendo considerado para combustão simultânea com biomassa (incluindo lixo urbano) e mesmo co-gaseificação.

Tecnologias para geração com carvão

- Quanto à redução de emissões de CO_2, em todos os sistemas, não há rota claramente definida.
- Os problemas maiores são:
- A redução de eficiência de conversão do ciclo com a incorporação dos processos de separação de CO_2;
- A dificuldade de realizar estes processos nos volumes requeridos;
- A incerteza quanto às possibilidades de dispor do CO_2 sequestrado (seja em reservatórios de óleo e gás, cavernas, oceanos).

Tecnologias para geração com carvão

- ***Carvão mineral no Brasil***
- O uso maior do carvão nacional é para termoeletricidade.
- A Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias para Geração de Energia Elétrica a Carvão deve ser vista com maior amplitude, envolvendo toda a cadeia produtiva.
- Linhas principais são:
- Tropicalização de Tecnologias Limpas para Geração Termelétrica a
- Carvão;
- Estudos e Desenvolvimento de Processos de Limpeza de Gases;
- Estudos e Desenvolvimento de Processos de uso e disposição de
- resíduos de termelétricas;
- Estudos de Materiais;
- Modelagem e Instrumentação & Controle

Energia Nuclear

- No momento o desenvolvimento está praticamente parado (assim como o mercado) nos EUA, e avança relativamente pouco no resto do mundo.
- **Quais as rotas tecnológicas a buscar?**
- Até 2020, estabelecer opções viáveis (custo e confiabilidade) para uso em larga escala.
- Até 2050, buscar opções (iniciando agora) considerando o esgotamento das reservas mais ricas e baratas de urânio.

Energia Nuclear

- As tarefas para 2020 incluem:
- Aperfeiçoar e implementar os programas de gerenciamento do combustível usado e disposição de resíduos radiativos;
- Simplificar a regulamentação exigida em todos os níveis, usando critérios "realistas" com maior base em custo e riscos;
- Desenvolver sistemas avançados de informação (planta); adaptar novas tecnologias de construção (modulares).

Energia Nuclear

- Para 2050:
- Determinar as melhores opções para uso mais completo do combustível (material fértil, resfriamento, forma do combustível, ciclo, etc);
- Buscar avanços em reatores resfriados a Hélio (alta T) para uso em calor para processos; opções para fusão (previsão).

Energia Nuclear

- Especificamente para o Brasil, um programa consistente de P&D a médio e longo prazos seria:

- **Até 2010**
- Estabelecer e identificar os conceitos de sistemas nucleoelétricos mais promissores;

- Mapear as tecnologias mais relevantes, viáveis e adequadas;

- Iniciar um programa de P&D, de longo prazo, para viabilizar a utilização de uma ou mais dessas tecnologias até 2040;

Energia Nuclear

- Ampliar a participação em iniciativas internacionais de P&D para desenvolvimento de reatores avançados que possam ser construídos e operados até 2015 de forma manter a componente nuclear na nossa matriz de geração elétrica em níveis adequados (3 a 5%) à viabilização de nossa indústria nuclear e à transição entre a tecnologia atual e aquela que deverá estar disponível em 2040.

Energia Nuclear

- Linhas de P&D mais relevantes para o setor núcleo-elétrico nos próximos 10 anos são as seguintes:

- Reatores Nucleares Avançados tipo PWR;
- Reatores Nucleares com Sistema Primário Integrado (IRIS);
- Controle, Instrumentação e Interface Homem-Sistema/Tecnologias e Sistemas de Suporte ao Operador;
- Ciclos Avançados de Combustível Nuclear com Alta Queima e Alta Taxa de Conversão e;
- Monitoração/Gestão de Envelhecimento de Centrais Núcleo-elétricas.

Energia renovável

- ***Energia hidráulica***
- Estão destacadas como prioritárias as linhas de estudo:
- 1. Desenvolvimento de modelos para previsão de vazão aos reservatórios das usinas hidrelétricas com base em modelos climáticos e meteorológicos e levando-se em conta os usos múltiplos da água;
- 2. Desenvolvimento e uso prático de modelagem, monitoração e diagnóstico de hidrogeradores de grande e pequeno porte;

Energia renovável

- 3. Desenvolvimento de simulação física e matemática do processo de construção, recuperação e operação de barragens;
- 4. Desenvolvimento de tecnologias para aumento da competitividade de pequenas e médias centrais elétricas;
- 5. Desenvolvimento de ferramentas para estudos de inventários de bacias hidrográficas;
- 6. Estudos para recapacitação das usinas atuais.

Energia renovável

- ***Biomassa***
- Diversas tecnologias estão em fase de desenvolvimento, para vários tipos de energia.
- É necessária a redução dos custos de coleta e transporte da biomassa.
- Nesse sentido, as fontes de biomassa para conversão são:
- Resíduos de outros usos de biomassa que estejam já concentrados no local de uso.
- Resíduos de outros tipos de biomassa que possam ser coletados e transportados a baixo custo.
- Plantações específicas para a produção de energia.

Energia renovável

- ***Florestas plantadas e nativas no Brasil***
- É notável o crescimento do uso de florestas plantadas.
- No segmento de papel e celulose, 100% da madeira é de reflorestamento.
- Hoje o Brasil possui a melhor tecnologia no mundo para a implantação, manejo e exploração de florestas de eucaliptos.

Energia renovável

- ***Tecnologias de conversão para eletricidade***
- A única tecnologia comercial (e usada em larga escala) é a combustão direta da biomassa em caldeiras, em ciclos a vapor.
- As duas outras tecnologias consideradas para conversão termelétrica são:
- Combustão mista de biomassa/carvão.
- Gasificação da biomassa e uso do gás em ciclos combinados.

Energia renovável

- Tecnologias envolvem: gasificação pressurizada ou atmosférica; aquecimento direto ou indireto, leito fixo (limitado a pequeno porte) ou CFB; com injeção de ar ou oxigênio.

- A tendência atual é para sistemas atmosféricos, CFB, gasificação direta ou indireta.

- Pode-se esperar ganhos (eficiência, custo da planta) com tecnologia (turbina/câmaras de combustão especiais); aumentos na escala de produção (30-150 MW); e "aprendizado".

Energia renovável

- O desenvolvimento de tecnologia na área florestal no país conta com bom entrosamento entre universidades, institutos e empresas.
- Algumas áreas que são relevantes, necessitando P&D, nos próximos anos :
- Obtenção e tratamento de dados sobre consumo de madeira para energia, no Brasil.
- Processos mais eficientes para uso de madeira como energético no setor residencial.
- Recuperação dos produtos gasosos condensáveis na carbonização.
- Implementação e manejo de florestas para energia em áreas marginais à agricultura para alimentos.

Energia renovável

- ***Tecnologias de conversão de biomassa para eletricidade no Brasil***

- Os sistemas utilizados no Brasil são predominantemente ciclos a vapor (queima direta) operando em cogeração nas indústrias de cana e papel/celulose.

- As tecnologias do ciclo a vapor são conhecidas e totalmente dominadas no país.

Energia renovável

- ***Gaseificação***

- As tecnologias de gasificação (visando maiores eficiências de conversão) estão em análise/desenvolvimento no país desde o início dos anos 90, principalmente com dois projetos:

- Um para a instalação de uma central operando com madeira e gaseificador de leito circulante, atmosférico;

- Outro para o desenvolvimento de toda a tecnologia (novamente, para integração do sistema de gasificação a uma usina de açúcar no Brasil).

Energia renovável

- ***Desenvolvimento tecnológico: linhas principais***

- Matéria-prima: desenvolvimento em eucalipto e estudos em cana de açúcar.
- Avaliar o estágio de desenvolvimento de gaseificadores de pequeno porte.
- Gaseificadores de grande porte (>10 MWe) : acompanhar as plantas piloto no exterior e implementar um ou os dois estudos de piloto comercial no Brasil.
- Investir em estudos da gasificação (opções, vantagens relativas, tecnologias).
- Para tecnologias já comerciais: analisar o uso de combustíveis complementares (GN) para reduzir a sazonalidade.
- Continuar desenvolvendo a recuperação econômica de resíduos, e determinar seu potencial viável.

Energia renovável

- ***Energia solar fotovoltaica e termoelétrica***

- A conversão fotovoltaica (PV) tem mostrado maior desempenho e potencial que a via térmica para eletricidade;

- Três tecnologias básicas competem:

- C-Si (silício cristalino; placas);
- Filmes finos (a-Si; CIS; CdTe; filme c-Si) onde a-Si é o líder;
- PV com concentração: Si ou GaAs.

Energia renovável

- Há uma transição forte dos primeiros sistemas (setor rural; isolados) para usos urbanos (notadamente, o "teto solar" com interligação à rede).

- Sistemas hélio termoelétricos tiveram avanços consideráveis.

Energia renovável

- ***Energia fotovoltaica no Brasil***

- Em linhas gerais, uma estratégia para P&D no Brasil indicaria:

- Analisar as necessidades tecnológicas para a produção de Si "grau solar" e sua transformação no país; viabilidade.
- Apoiar o desenvolvimento de células a partir de Si "grau solar".
- Desenvolvimento de componentes / sistemas eletrônicos, conversores.

Energia renovável

- Para as fases de demonstração e viabilização de mercados, claramente são necessários (como no resto do mundo) incentivos; a "medição líquida" da energia nos sistemas conectados à rede é essencial. Ações :

- Análise de configurações de conexão (baixa e média tensões).
- Normas técnicas e padrões de qualidade.
- Procedimentos de "medição líquida" de energia.

Energia renovável

- ***Energia solar termoelétrica no Brasil***

- Pontos onde a P&D se faz necessária são os mesmos que no exterior:
- Materiais (óticos; fluidos de trabalho).
- Sistemas de rastreamento.
- Sistemas de armazenagem térmica.
- Complementação dos dados solarimétricos para as regiões de maior interesse: radiação direta, e suas séries temporais.

Energia renovável

- ***Energia eólica***
- Características consolidadas são: três pás, alinhamento ativo, estrutura não flexível.
- São testados sistemas para uso terrestre e off-shore; incluindo sistema isolados (pequeno porte), híbridos (complementando diesel ou PV) ou integrados à rede.
- Problemas de impacto ambiental com ruído (aerodinâmico ou mecânico) foram consideravelmente reduzidos nos últimos anos e espera-se atingir os limites aceitos dentro de poucos anos (30; 55).
- Quanto às emissões de CO2, correspondem apenas à construção, instalação e operação dos equipamentos.

Energia renovável

- ***Tecnologia no Brasil***
- Programas de P&D no Brasil deverão compreender:
- Desenvolvimento de máquinas: situações específicas no Brasil; regimes de vento, turbinas mais eficientes para 50-100 kW (ilhas oceânicas); turbinas para parques eólicos.
- Consolidação de dados do potencial eólico.
- Integração de parques ao sistema interligado (qualidade, armazenamento, sistemas híbridos).

Energia renovável

- ***Energia geotérmica***
- A utilização de energia geotérmica (tanto para eletricidade quanto para calor) parece atraente considerando o potencial.
- Duas tecnologias são vistas hoje:
- Para a energia de reservatórios hidrotérmicos (até 3 km, contendo água quente e/ou vapor; são úteis para potência nas temperaturas acima de 100C).
- Para os HDR ("hot dry rock"), ocorrendo onde há gradientes térmicos bem acima da média de 50ºC/km; pelo menos 4 km de profundidade.

Energia renovável

- ***Energia de ondas***
- As tecnologias em vista são, principalmente:
- *On shore*: tipo Coluna de água oscilante e tipo canal convergente, onde o nível de água sobe em um canal artificial e alimenta um lago, que descarrega, através de turbinas, no mar.
- Costeiro: flutuante, cabo umbilical para o fundo; conversor a pistão hidráulico.
- Alto-mar: também flutuante, motores hidráulicos, em estudos.

Energia renovável

- O desenvolvimento tecnológico adequado no Brasil recomenda, além de seguir de perto os avanços no resto do mundo e considerando que as tecnologias são claramente incipientes:

- Aprofundar o estudo do potencial nos locais mais promissores.
- Avaliar a eficiência hidrodinâmica de sistemas alternativos (modelos reduzidos).
- Avaliar os conversores eletromecânicos.
- Avaliar custos construção no Brasil.

Tecnologias Para o Suprimento de Combustíveis

Perspectivas no Mundo e no Brasil

Energia fóssil (petróleo; gás natural; carvão)

- No nível de conhecimento atual, as melhores perspectivas são para tecnologias envolvendo a produção intermediária de gás de síntese (CO, H2), a partir de GN ou carvão, e buscar sempre que possível configurações onde se pratique cogeração.

- Hoje ciclos de gaseificação de carvão integrados com ciclos combinados e cogeração podem produzir energia competitivamente com ciclos convencionais a vapor, e com emissões equivalentes às de plantas a gás natural.

Energia fóssil (petróleo; gás natural; carvão)

- ***Óleo e Gás Natural***

- O gás natural gradualmente adquire importância como combustível estratégico e como fonte energética 'limpa'.

- São necessários projetos de P&D nas seguintes áreas:
- Exploração e produção de óleo;
- Refino de óleo;
- Gás Natural;
- Meio Ambiente;
- Segurança.

Energia fóssil (petróleo; gás natural; carvão)

- ***Carvão vegetal***

- A tecnologia começou a evoluir dos tradicionais fornos "rabo quente" para fornalhas retangulares e processos muito mais eficientes estão sendo gradualmente adotados; o uso de florestas plantadas reduz os custos de transporte.

- Um grande interesse na siderurgia a carvão vegetal tem sido renovado com as perspectivas do uso de "mecanismos de desenvolvimento limpo" para premiar a produção de "aço verde.

- Buscam-se tecnologias mais "limpas" e eficientes, incluindo a utilização de sub-produtos (do alcatrão e dos gases efluentes).

Energia fóssil (petróleo; gás natural; carvão)

- As áreas previstas para desenvolvimento tecnológico, além das relativas à produção de biomassa, são:
- Processos avançados de carvoejamento; maior eficiência de conversão, menor custo.
- Utilização integral dos subprodutos (alcatrão, gases).

Etanol de cana de açúcar

- A indústria da cana no Brasil mantém o maior sistema de produção de energia comercial da biomassa, no mundo, através do etanol.
- Novas tecnologias (aproveitamento melhor da biomassa para energia, uso de variedades transgênicas) podem continuar a tendência declinante de custos para o futuro.
- É necessário desenvolver mecanismos para assegurar a oferta de etanol em níveis compatíveis com as políticas visando a participação prevista de carros a álcool e o nível de mistura de etanol na gasolina.

Etanol de cana de açúcar

- Os programas principais envolvem :

- O melhoramento genético da cana;
- A área de produção de cana (entomologia e fitopatologia; operações agrícolas; gerenciamento agrícola);
- O processamento industrial (tecnologias de extração, fermentação e destilação; produção e uso de energia; metodologia analítica; controle ambiental);
- A segurança agroindustrial.

Energia Solar: aquecimento a baixas temperaturas

- São tecnologias comerciais em todo o mundo.
- As principais aplicações estão no aquecimento de água (doméstico e, em menor escala, industrial); e em processos de secagem e refrigeração (absorção).
- As tecnologias utilizam, em sua maior parte, coletores solares planos fechados (T < 60ºC); coletores abertos (sem cobertura) são usados em menor escala (T < 30ºC).

Energia Solar: aquecimento a baixas temperaturas

- ***Uso e tecnologia no Brasil***

- Uma característica da tecnologia no Brasil é o uso de sistemas coletores em prédios de apartamentos;

Energia Solar: aquecimento a baixas temperaturas

- O desenvolvimento da tecnologia compreenderá :

- Redução de custos: manufatura, materiais, qualidade da automação.
- Aumento da eficiência de conversão: películas, tintas, isolamento, novas coberturas.
- Análise de componentes / sistemas completos.
- Novos tipos de coletores (tubos evacuados, concentradores estáticos).
- Suporte de engenharia a projetos: softwares, contratos de desempenho.
- Demonstração no sistema de habitação; pré-aquecimento industrial, hotéis, escolas, etc.
- Capacitação de profissionais.

Transmissão/distribuição de energia elétrica

- As funções de transmissão e distribuição de energia ficarão cada vez mais complexas, principalmente como resultado de:

- Demandas de "economia digital" (qualidade; confiabilidade, precisão).
- A entrada em larga escala de geração distribuída "moderna" e auto geração.
- A saturação dos sistemas de distribuição e transmissão existentes .

Transmissão/distribuição de energia elétrica

- Sem investimentos consideráveis a confiabilidade será reduzida, levando a grandes perdas.

- **Tecnologias para 2020** - Demandas específicas para energia com alta qualidade ("premium power") serão constantes em 2020 (em parte, demandas de "economia digital"). Três áreas de desenvolvimento deverão ser aceleradas para isto:

- Automação na distribuição.
- Controles eletrônicos de potência (para sistemas de distribuição) específicos (proteção consumidor/rede).
- Várias tecnologias de geração/armazenamento para aplicações distribuídas.

Transmissão/distribuição de energia elétrica

- Um grande aumento em geração distribuída (usando várias tecnologias) deverá ocorrer; em vários casos, operação em cogeração promovendo maior eficiência.

- São sistemas com potencial para maior confiabilidade, qualidade, flexibilidade e menor custo; incluem células a combustível, PV, microturbinas, motores de combustão interna e ciclos combinados.

Transmissão/distribuição de energia elétrica

- ***O sistema de transmissão no Brasil***

- É muito importante considerar os sistemas isolados, ainda que correspondam a uma fração relativamente pequena da energia;

- O seu desenvolvimento deve ser empreendido, considerando os avanços das tecnologias adequadas e as características regionais.

- Torna-se muito importante uma forte interação do setor produtivo com setores nacionais capacitados para P&D no estabelecimento de programas de interesse.

Transmissão/distribuição de energia elétrica

- Para os próximos dez anos, as tecnologias que deverão impor-se são as mesmas para o mercado internacional:

- Materiais com melhor condutividade;
- Compactação de componentes da rede;
- Segurança no uso final de eletricidade; e
- Melhores (mais eficientes) dispositivos para armazenamento.

- A maior flexibilidade exigida da transmissão / distribuição implicará em tecnologias de CC e eletrônica de potência;

- Materiais poliméricos, e HTS, serão introduzidos comercialmente.
- Controles com FACTS, sistemas de proteção de equipamentos de uso final automáticos (operação e ambiente), e redes de informação/controle distribuída, integrarão os sistemas.

Transmissão/distribuição de energia elétrica

- Alguns tópicos sugeridos como relevantes para P&D no Brasil são:

- Tecnologias de redes (estrutura, materiais, equipamentos, etc.)
- Recapacitação das linhas de transmissão (inclusive compactação da distribuição dos condutores.
- Automação, supervisão, controle.
- Equipamentos e Materiais (proteção, transformação, operação,
- manutenção).
- Tecnologias para medição e tarifação.
- Qualidade da energia.
- Geração distribuída (tecnologias; potenciais; interligação).
- Modelos para representação das cargas no sistema elétrico brasileiro.
- Meio Ambiente e responsabilidade social (impactos e mitigação).
- Supercondutores.

Transmissão/distribuição de energia elétrica

- ***Geração distribuída de energia elétrica***

- Várias tecnologias para 1 kW – 15 MW podem tornar-se vantajosas: menor capital, menos perda e investimento com transmissão, em alguns casos com possibilidades de cogeração.

- Podem ser particularmente importantes no Brasil, onde há carência de maior infraestrutura para transmissão de energia elétrica e gás natural.

- Os problemas naturais são a integração, interconexão, confiabilidade, proteção dos sistemas e segurança.

Transmissão/distribuição de energia elétrica

- ***Pequenas turbinas a gás***

- Há dois tipos de sistemas comerciais hoje, e grande esforço no desenvolvimento para maior eficiência; participam vários fabricantes tradicionais de turbinas industriais.

- A rota é análoga à seguida para turbinas maiores: recuperação, interresfriamento, materiais para maiores temperaturas.

Transmissão/distribuição de energia elétrica

- ***Células a combustível***
- O custo ainda é um problema importante.
- Um estudo realizado pelo MCT (2002) selecionou linhas de P&D prioritárias dentro de um contexto de trabalho em rede (institutos, empresas) indicando:
- Pilhas a combustível: PEM, óxido sólido, PEM-etanol.
- Combustíveis: eletrólise, reforma (GN, etanol, GLP); produção de H2 de fontes renováveis; tecnologia do H2 (armazenagem, transporte,
- distribuição).
- Integração de sistemas: engenharia, eletrônica de potência, integração de componentes; integração à rede.

Transmissão/distribuição de energia elétrica

- ***Motores de combustão interna***
- Mercado estabelecido, muito competitivo;
- Busca-se ganhos em custos (eficiência, fabricação e manutenção) e menores emissões, para a faixa de centenas de kW.
- Uma das tendências recentes é para bicombustível (gás e diesel): evita emissões nas temperaturas altas (gás) e obtém a alta densidade de potência e eficiência do diesel.

Armazenamento de energia

- Há "mercados" para várias escalas de armazenamento.
- Estão ficando mais atraentes (necessários), no mercado desregulado, sistemas de armazenamento para larga escala (para deslocamento da carga diurna, tais como bombeamento de água ou ar comprimido).
- Nas escalas menores, serão necessários para aumentar as vantagens de sistemas distribuídos.

Armazenamento de energia

- Os sistemas em desenvolvimento (ou comerciais) incluem:

- Baterias;
- Ar comprimido;
- Bombeamento de água;
- Cinéticos (volantes);
- Magneto supercondutor;
- Ultracapacitores;
- Geração/armazenamento de hidrogênio.

Hidrogênio como vetor energético

- É essencial a produção de hidrogênio competitivamente em escalas compatíveis com as da eletricidade (o futuro).
- Não se sabe ainda como isto seria feito (rotas), mas há inúmeros projetos visando o uso de fontes energéticas diferentes.
- Soluções regionais seriam as indicadas, e o Brasil deve analisar suas possibilidades.
- O hidrogênio pode ser produzido de diversas formas, a partir da eletricidade (eletrólise), por energia solar (conversão fotoquímica), por produção biológica, pela gasificação de biomassa ou no futuro, produção termoquímica, incluindo a pirólise a plasma.

Hidrogênio como vetor energético

- Os processos de produção usados (e em estudos) são:

- A gasificação de combustíveis (reforma vapor de HC leves, gás natural, metanol, etanol); oxidação parcial de óleos pesados e carvão;
- Decomposição termoquímica da água;
- Eletrólise de água (hoje: comercial, 4,4 kWh/Nm3, h=80%; podendo atingir 4,1 kWh/Nm3).

Conservação – uso final

- O aumento da eficiência energética inclui, além dos esforços nos usos finais, itens em:
- Redução de perdas na transmissão e distribuição (energia elétrica);
- Eficiência no uso da energia primária para geração (cogeração).

Conservação – uso final

- Busca-se o aprimoramento tecnológico de equipamentos que usem energia, na redução de consumo específico (ou aumento de eficiência energética) e na redução de emissões.
- A conservação tem assumido um papel importante na diminuição de taxas de crescimento da demanda de energia elétrica.
- Em princípio, não há barreira tecnológica para a produção e uso de equipamentos mais eficientes (no seu estágio atual, no Brasil).

Conservação – uso final

- Projetos considerados relevantes são:

- Metodologias para ajuste diário do planejamento para contratação de energia, para os diversos segmentos do mercado;
- Avaliação do potencial econômico de eficiência por segmento do mercado, e identificação de programas prioritários de P&D para eficiência no uso final;
- Melhoria dos critérios de avaliação dos programas de eficiência energética;
- Intensificar os esforços para as tecnologias de cogeração, com aumento da geração distribuída, em particular para sistemas de uso de gás natural (calor, frio, eletricidade).

Referências

- Macedo, Isaías. Estado da Arte e Tendências das Tecnologias para Energia. CGEE- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, janeiro de 2003.

Estudo de Tecnologias

Júnia Roberta de Souza Pereira

Combustíveis renováveis para transportes

- ***Etanol***
- O setor ainda tem muito espaço para desenvolvimento.
- É necessário:
- Melhoria genética da cana com a oferta de variedades específicas para as várias regiões e ambiente de produção.
- Desenvolvimento de tecnologias para a produção em larga escala de mudas sadias.

Combustíveis renováveis para transportes

- Na produção de cana existe demanda por inovações tecnológicas que promovam:

- A utilização mais eficiente de irrigação com vinhaça, por novos sistemas de fertirrigação.
- Tecnologias para produção de cana sem queima dos canaviais.
- Melhoria e integração de sistemas de informática para planejamento e controle da produção.
- O desenvolvimento de tecnologias para a recuperação da palha a baixo custo.
- O aumento da capacidade de cogeração e o aumento da eficiência energética do consumo interno de energia.

Combustíveis renováveis para transportes

- Um novo processo, com grande possibilidade de reduzir os custos de produção, é a hidrólise de lignocelulósicos e, em particular, utilizando processos catalisados por enzimas.

- O custo da produção pode ser reduzido conseguindo desenvolver novos fins comerciais para os produtos de sacarose como plásticos, solventes, aminoácidos.

Combustíveis renováveis para transportes

- É necessário também promover o desenvolvimento de novos usos para o etanol, como:

- Misturas com diesel para motores alternativos.
- A utilização de etanol em células a combustível, seja com uso de reformador ou com alimentação direta.
- A utilização de etanol na produção de biodiesel.

Combustíveis renováveis para transportes

- ***Biodiesel***
- A meta desejada é a de reduzir os custos de produção de biodiesel, utilizando etanol como reagente, a valores equivalentes ao da produção de diesel.
- Redução de custos também na produção do óleo vegetal e no desenvolvimento de novas aplicações comerciais para o subproduto glicerina.
- Oportunidades de mais longo prazo: o desenvolvimento de novas rotas de produção de biodiesel através de catalise heterogênea e enzimática e craqueamento do óleo vegetal.

Geração de eletricidade para os sistemas isolados

- As localidades da Amazônia Legal que não estão conectadas a rede básica de transmissão de eletricidade do Brasil constituem os sistemas isolados.
- Estes sistemas são os principais consumidores brasileiros de combustíveis fósseis e, em muitos casos, de maneira ineficiente.
- Tendência para que a demanda de óleo diesel nesses sistemas aumente.

Geração de eletricidade para os sistemas isolados

- Uma grande oportunidade de negócios que é a utilização de fontes energéticas locais para a geração, sejam as renováveis, seja o gás natural, em substituição aos combustíveis fosseis.
- As tecnologias a serem empregadas devem ser adaptadas às condições climáticas, geográficas, e sociais da região.
- Devem ainda requerer baixa manutenção, e de preferência, utilizar recursos humanos locais para a sua operação e manutenção.

Geração de eletricidade para os sistemas isolados

- ***Queima direta da biomassa***
- Gera energia com queima de resíduos de biomassa decorrente de processos agrícolas ou agroindustriais.
- A indústria brasileira já domina toda a cadeia produtiva dos equipamentos necessários nesses sistemas.
- Por motivos econômicos, a menor potência fabricada é de 300 kW. Essa potência é alta para a maioria das comunidades isoladas.
- Para potência menores, os motores stirling possuem o potencial de serem mais eficientes a um custo por kW menor.

Geração de eletricidade para os sistemas isolados

- ***Micro e pequenas centrais hidrelétricas***

- Identificação de locais onde estas centrais possam ser construídas a uma distância economicamente viável de distribuir a eletricidade nas comunidades isoladas.

- É necessário :
- Um levantamento com informações hidro topográficas com a localização de centros de carga e suas informações sócio econômicas.

- Sistemas de automação parcial ou total, para que possam ser geridos a distância.

Geração de eletricidade para os sistemas isolados

- ***Pico centrais elétricas***

- A dispersão populacional na Amazônia é também um complicador para o atendimento das demandas elétricas.

- Essa realidade geográfica e elétrica torna o atendimento por extensão de rede elétrica economicamente impossível e também reduz as opções de geração tendo como tradicional meio de atendimento, o grupo-gerador diesel.

Geração de eletricidade para os sistemas isolados

- A disponibilidade de tecnologias que gerem potências tão pequenas de maneira eficiente, robusta e demandando por pequena manutenção, são poucos.

- Em ordem decrescente de maturação tecnológica as tecnologias são :
- Turbinas hidráulicas
- Painéis fotovoltaico;
- Turbinas hidro cinéticas;
- Aero geradores;
- Gaseificadores;
- Motores stirling;
- Células a combustíveis.

Geração de eletricidade para os sistemas isolados

- ***Óleos vegetais***

- A produção de biodiesel por transesterificação exige mão de obra qualificada e o transporte do álcool utilizado no processo.

- O principal problema com motores diesel consumindo diretamente óleos vegetais é a redução dos tempos de manutenção.

Geração de eletricidade para os sistemas isolados

- ***Gaseificação de biomassa***

- Torna a conversão da biomassa em energia elétrica em um processo mais eficiente e com equipamentos mais compactos, dando mais flexibilidade de operação a planta.

- O gás gerado pode ser usado para queima em um forno, como gás de síntese e/ou como combustível para um motor alternativo ou turbina a gás.

- Podemos subdividir as ações de gaseificação no Brasil em ações objetivando grandes (MW) e pequenas (kW) potências.

Geração de eletricidade para os sistemas isolados

- O uso de gaseificadores de pequena potência, tem como nicho, o atendimento de consumidores isolados da rede de distribuição de energia elétrica.
- Neste caso, a biomassa a ser gaseificada são os resíduos da produção agrícola e resíduos de serrarias.
- Oportunidade por desenvolvimento de grupos geradores com gaseificadores.

Geração de eletricidade para os sistemas isolados

- ***Células a combustível***

- As células a combustível podem utilizar combustíveis locais, como os gases oriundos da gaseificação de biomassa, o álcool, e o gás natural.

- As células podem ser operadas remotamente, e como não possuem peças móveis, possuem pequena manutenção.

- O custo e a potência são os limitantes dessa tecnologia.

- Precisa-se de investimentos para aprimorar a tecnologia, tanto das células em si quanto de reformadores de álcool e gás natural.

Resíduos rurais

- ***Resíduos animais***

- Biodigestores de alta performance podem ser utilizados para evitar o lançamento de metano pelos resíduos da suinocultura, e ao mesmo tempo agregar valor a produção local, e adicionalmente resolver um problema ambiental.

- O objetivo é otimizar e automatizar ao máximo todos os processos de um sistema biodigestor.

- É necessário um motor otimizado para consumir gás, com sistemas de controle do combustível adequado de maneira a maximizar a eficiência do sistema como um todo.

Resíduos rurais

- ***Resíduos agrícolas***
- Desafios:
- Modelos de gestão que permitam a coleta dos resíduos em volumes suficientes para justificar uma planta de geração de eletricidade vendendo energia para a rede a valores competitivos para a concessionária e que viabilizem economicamente o empreendimento.
- Equipamentos agrícolas que possam coletar os resíduos no campo a baixo custo, veículos energeticamente eficientes, com pouco ou nenhum lançamento de poluentes, e processos de transformação mais eficientes.

Resíduos rurais

- No caso de geração de energia, a tecnologia mais madura é a queima direta, mas as perspectivas indicam uma mudança para o uso da liquefação e da gaseificação da biomassa.

Resíduos sólidos urbanos -RSU

- ***Queima direta do gás de lixo***
- Nos aterros sanitários acontece a decomposição da matéria orgânica presente nos RSU de maneira anaeróbica, gerando um biogás com conteúdo médio de 50% de metano.
- Necessidade de aprimoramento tecnológico buscando-se a redução dos custos dos equipamentos.
- O Brasil não detém o conhecimento de motores de combustão interna especificamente projetados para consumir gás e acoplados a geradores elétricos.

Resíduos sólidos urbanos -RSU

- ***Queima direta do resíduo sólido urbano***
- O Brasil já domina o processo de fabricação de todos os equipamentos de um sistema a vapor para geração de eletricidade.
- Falta somente o desenvolvimento de uma caldeira que seja capaz de queimar o material orgânico do RSU sem lançar dioxinas e furanos na atmosfera.

Resíduos sólidos urbanos -RSU

- ***Compostagem seca anaeróbica***

- Sendo o resíduo orgânico separado do resíduo inorgânico, ele pode ser processado em plantas industriais que promovem a decomposição da biomassa em gás metano e adubo.

- Existe a possibilidade do biogás ser adicionada a rede urbana de gás natural.

Resíduos sólidos urbanos -RSU

- ***Pré-hidrolise ácida***

- O objetivo é desenvolver as tecnologias dos materiais lignocelulósicos de digestão material.

- Neste programa, as biomassas são transformadas em dois produtos:
- A celulignina utilizada como combustível, ração animal e madeira sintética, entre outros produtos.
- Préhidrolisado (solução de açúcares) usado em produtos químicos tais como furfural, álcool, xilitol que apresentam valor de mercado.

Florestas e reflorestamentos

- O desenvolvimento no setor o qualifica para a exploração de florestas nativas, ou seja, o aproveitamento da sua biomassa sem promover o desflorestamento.
- Apesar disso, as atividades deste setor não priorizam o uso energético da biomassa.
- Oportunidades: desenvolvimento genético de espécies, de técnicas, de processos e de equipamentos de produção específicos para atender as especificidade do uso energético.
- Complementação da sazonalidade de diferentes culturas energéticas para garantir o suprimento de combustível durante todo o ano.

Florestas e reflorestamentos

- O carvão vegetal pode substituir com vantagem o carvão mineral.
- No Brasil o carvão vegetal é produzido majoritariamente de florestas nativas e utilizando técnicas rudimentares na sua produção.
- Buscam-se processos mais avançados de carvoejamento com maior eficiência de conversão e menor custo, inclusive com o aproveitamento integral dos subprodutos, como por exemplo alcatrão e gases residuais.

Cogeração e geração distribuída

- O custo do investimento inicial é um dificultador para a implantação de projetos de cogeração quando o combustível é gás.
- Dificuldade de comercialização da energia excedente e a insegurança do suprimento de energia de *back-up*.

Redução de gás "flaring" em refinarias e plataformas petrolíferas

- Gás de *flaring* é o gás rico em metano que é extraído associado com o petróleo dos reservatórios subterrâneos ou é resíduo dos processos de refino de petróleo.
- Esse gás é um excelente insumo, tanto para geração de eletricidade quanto para produzir gás de síntese a ser utilizado em processos químicos.
- Normalmente os consumidores desse gás estão longe do local produtor.

Redução de gás "flaring" em refinarias e plataformas petrolíferas

- A redução do gás de *flaring* já vem mobilizando os agentes do setor e oferece excelente oportunidade.

- Quatro são as opções técnicas para obter tal redução:
- Capturar e transportar o gás para o usuário final na fase gasosa;
- Capturar e transportar o gás para o usuário final na fase líquida;
- Utilizar o gás no local de produção para gerar eletricidade a qual será consumido localmente e o excedente injetado na rede elétrica para transmissão;
- Reinjetar o gás no reservatório.

Outras alternativas de sequestro

- Aqui o termo sequestro significa impedir que o carbono inorgânico, produzido por queima, como por exemplo das centrais térmicas a hidrocarbonetos e carvão seja liberado no ar.

- Ao invés disso, ele seria capturado em sistemas pré ou pós-combustão e armazenados em reservas geológicas (como salitres e poços esgotados de combustíveis fósseis) ou nos oceanos.

Referências

- *Nogueira, Manoel Fernandes Martins . Cgee* - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Estudo de Tecnologias.

O Gás Natural no Sistema Elétrico Brasileiro: A superação de entraves contratuais

Introdução

- Verifica-se uma evolução da matriz elétrica em direção a uma composição hidrotérmica.
- É preciso planejar com rigor crescente a operação do sistema em função da perda gradual da capacidade de regularização dos reservatórios.

Produção de Gás Natural

- Haverá crescimento substantivo da oferta de gás para os próximos anos.
- Haverá a necessidade de alterar as formas de contratação do gás natural a fim de que este insumo possa ser incorporado à matriz de energia elétrica.
- O SEB irá necessitar, cada vez mais, de geração térmica no período seco.

Comercialização do Gás Natural
• A comercialização do gás para o consumo "não elétrico" é feita via contratos bilaterais entre distribuidoras de gás e Petrobrás.
• Contrato mais rígido e de longo prazo.
• A indústria de gás natural brasileira está em estágio de amadurecimento.
• Há a necessidade de ancorar a demanda necessária para financiar os investimentos em infraestrutura.

Comercialização do Gás Natural

- Problema: Resposta do preço às mudanças na conjuntura econômica.
- Esse problema é medido atualmente pelo volume diário de gás natural que está sendo queimado.
- Isso se explica por dois motivos:
- Queda da demanda industrial por gás.
- Redução da demanda térmica.

Comercialização do Gás Natural

Brasil - Produção e Queima de Gás Natural: 2006-2009
(em Mmcd e %)

Gás Natural	Média 2006	Média 2007	Média 2008	Jan 2009	Fev 2009	Mar 2009	Abr 2009	Mai 2009	Jun 2009	Jul 2009
(A) Produção Nacional	48,5	49,7	59,2	53,5	56,1	57,8	56,1	58,4	59,1	58,0
(B) Queima e Perda	5,1	5,3	6,0	6,1	8,1	10,1	10,0	9,3	13,4	12,1
B/A (em%)	10,5	10,7	10,1	11,4	14,5	17,5	17,8	15,9	22,6	20,8

Fonte: MME, Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural, n.º 29 - Ago/09.

- A Petrobrás busca mitigar esse problema através da criação de um mercado secundário de gás, promovendo diversos leilões com contratos de venda de gás por curto prazo.

Gás Natural no Setor Elétrico

- As condições de contratação por disponibilidade são a principal dificuldade e entrave para que o gás natural amplie a sua participação na matriz energética brasileira.

- A indústria de gás natural trabalha com contratos por quantidade, onde quanto maior o prazo e quantidade efetivamente consumidas, menores serão os preços.

Gás Natural no Setor Elétrico

- Necessidade previsível e crescente de geração térmica para ser despachada no período seco.

- O aumento expressivo previsto para a produção nacional de gás só poderá ser usado pelo setor elétrico com outras condições de contratação e de despacho.

Gás Natural no Setor Elétrico

- O contrato atual exige stand by de grandes volumes de gás, não permitindo a ampliação do consumo de gás natural pelo SEB.

- Quando o gás é incorporado ao SEB, via leilões de energia nova, as usinas termoelétricas apresentam um custo variável unitário muito alto.

Conclusão

- Deve-se colocar em discussão de como a expressiva e maior produção nacional de gás natural e consequente ampliação de sua oferta pode ser direcionada para a geração de energia elétrica.

- Serão necessários novos mecanismos competitivos para a sua contratação respeitando o fundamento da modicidade tarifária.

Oportunidades de Comercialização de Bioeletricidade no Sistema Elétrico Brasileiro

A Bioeletricidade Sucroenergética e a Matriz Elétrica Brasileira
• Uma melhor inserção da bioeletricidade sucroenergética na matriz elétrica brasileira é uma oportunidade promissora e viável economicamente, devendo-se assim concentrar esforços para viabilizá-la.

A Bioeletricidade Sucroenergética e a Matriz Elétrica Brasileira

- A dificuldade de leiloar novos projetos de geração hídrica não foi prevista.
- Não se deu a devida atenção no planejamento da contratação de um parque gerador complementar ao parque hídrico existente.

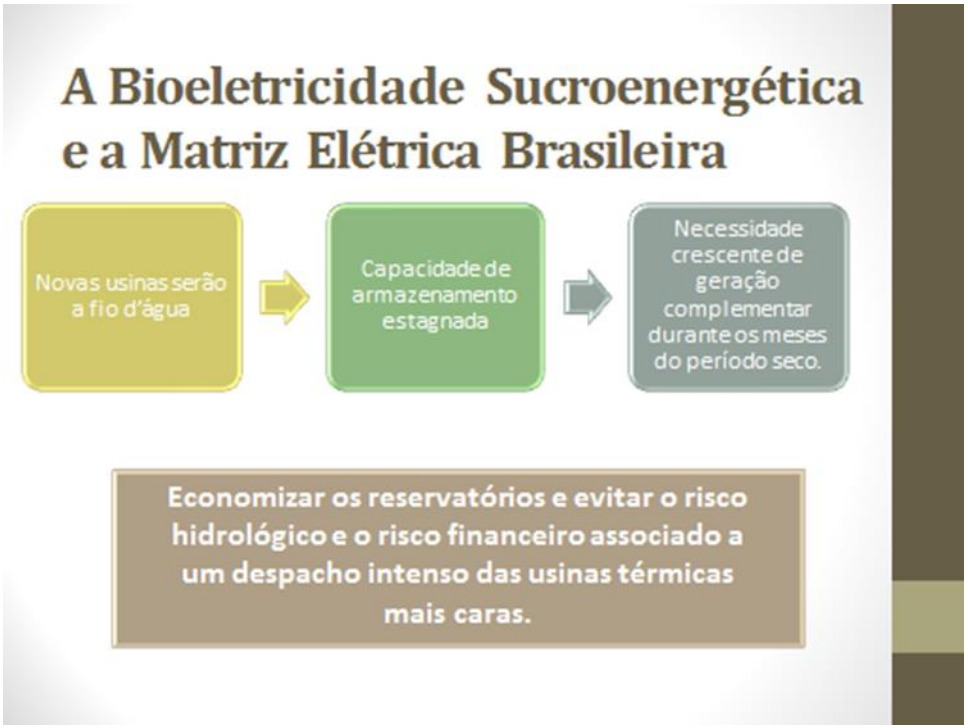
A Bioeletricidade Sucroenergética e a Matriz Elétrica Brasileira

- Premissa da expansão: as usinas térmicas teriam um papel marginal e não complementar, atuando apenas como usinas de backup, ou seja, seriam despachadas apenas em hidrologias críticas.
- Necessidade crescente de geração (térmica) complementar ao parque hídrico, sobretudo durante o período seco.
- Capacidade de regularização dos reservatórios decrescente.

A Bioeletricidade Sucroenergética e a Matriz Elétrica Brasileira

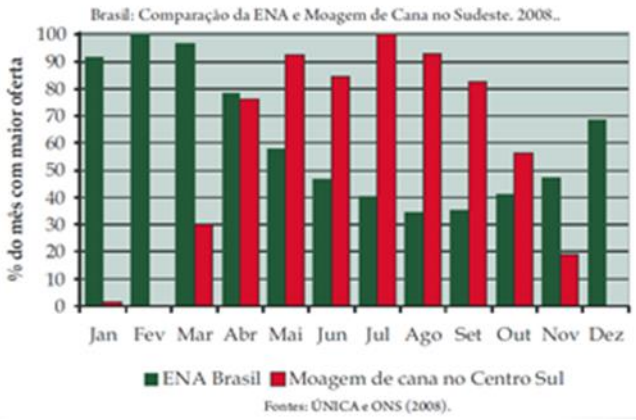
- As usinas térmicas com elevados custos variáveis foram contratadas na suposição de que seriam despachadas por um reduzido número de horas ao ano.

- O despacho destas usinas em um número de horas superior ao previsto provocará um grande acréscimo de custos não previsto em razão da crescente necessidade de geração.


A Bioeletricidade Sucroenergética e a Matriz Elétrica Brasileira
Novas usinas serão a fio d'água
Capacidade de armazenamento estagnada
Necessidade crescente de geração complementar durante os meses do período seco.
Economizar os reservatórios e evitar o risco hidrológico e o risco financeiro associado a um despacho intenso das usinas térmicas mais caras.

A Bioeletricidade Sucroenergética e a Matriz Elétrica Brasileira

- A bioeletricidade sucroenergética apresenta uma complementaridade em relação ao regime de águas.



A Bioeletricidade Sucroenergética e a Matriz Elétrica Brasileira

- A geração de bioeletricidade a partir do bagaço de cana surge como uma solução estratégica para a crescente perda da capacidade de regularização do sistema hídrico.

- A geração de energia térmica durante o período seco poderá permitir uma diminuição expressiva nas diferenças entre a energia disponível ao longo do ano, preservando a capacidade de regularização dos reservatórios.

Leilões de energia

- A bioeletricidade sucroenergética não vem sendo competitiva e vem perdendo sistematicamente para usinas térmicas a óleo e GNL.

- A falta de competitividade da bioeletricidade sucroenergética tem como causa central a sua inadequada valoração pelas atuais regras de seleções de projetos dos leilões de energia nova.

Leilões de energia

- O problema tem duas dimensões:

(a) não existe uma sinalização econômica clara quando às externalidades da bioeletricidade na forma de um valor acrescido para uma energia gerada no período seco; e

(b) o cálculo da garantia física dos novos empreendimentos não atribui à bioeletricidade sucroenergética uma energia assegurada compatível com o seu real benefício para o SEB.

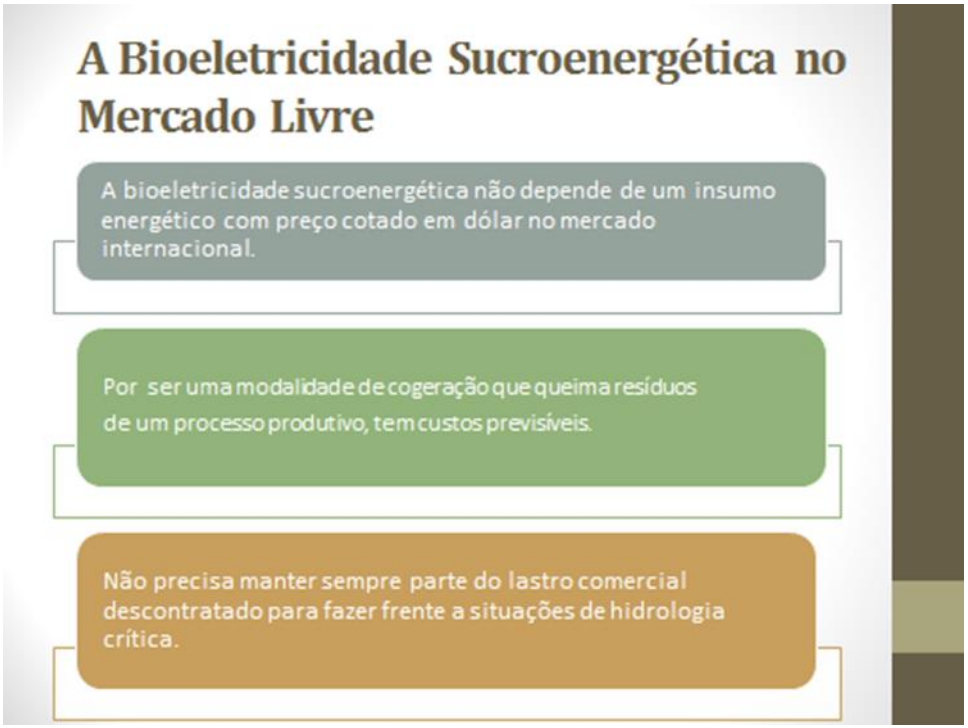
A Bioeletricidade Sucroenergética no Mercado Livre

- Como a geração térmica no Brasil tende a ter elevado custo variável de geração, trata-se de uma fonte de energia que não é compatível com a comercialização através de contratos bilaterais no mercado livre.

- As usinas termoelétricas com elevado custo variável no mercado livre vêm dominando os últimos leilões de energia nova.

A Bioeletricidade Sucroenergética no Mercado Livre

- Tanto os geradores térmicos como os hídricos têm limitações para expandir a oferta de contratos bilaterais de longo prazo no mercado livre.
- Há, portanto uma necessidade de buscar outras fontes de energia para expandir a oferta de energia no mercado livre em contratos bilaterais a preço fixo.
- A bioeletricidade sucroenergética, é uma forte candidata a suprir esta necessidade.


A Bioeletricidade Sucroenergética no Mercado Livre
A bioeletricidade sucroenergética não depende de um insumo energético com preço cotado em dólar no mercado internacional.
Por ser uma modalidade de cogeração que queima resíduos de um processo produtivo, tem custos previsíveis.
Não precisa manter sempre parte do lastro comercial descontratado para fazer frente a situações de hidrologia crítica.

A Bioeletricidade Sucroenergética no Mercado Livre

- Para os agentes do setor sucroenegético:
- O mercado livre se configura como uma oportunidade para alavancar a rentabilidade dos investimentos em bioeletricidade.
- A bioeletricidade também pode ser comercializada na forma de energia incentivada.

A Bioeletricidade no Mercado Cativo

- O ACR (ambiente de contratação regulado), tem um mecanismo desenhado especificamente para permitir a contratação de novos empreendimentos de geração, os leilões de energia nova.

- Não oferece uma correta valoração de projetos com custo variável baixo ou com geração concentrada no período seco, como é o caso específico da bioeletricidade sucroenergética.

Brasil: Contratação de Energia Elétrica nos Leilões de Energia Nova de A-3 e A-5 2007-2008
(em MW e %)

Insumo Energético	Capacidade contratada (em Mw)	Participação (em %)
Óleo Combustível	6.832	63,1
GNL	2.128	19,6
Carvão	1.410	13,0
Coque de Petróleo	350	3,2
Bioeletricidade Sucroenergética	114	1,1
Total	10.834	100,0

Fontes: CCEE e EPE

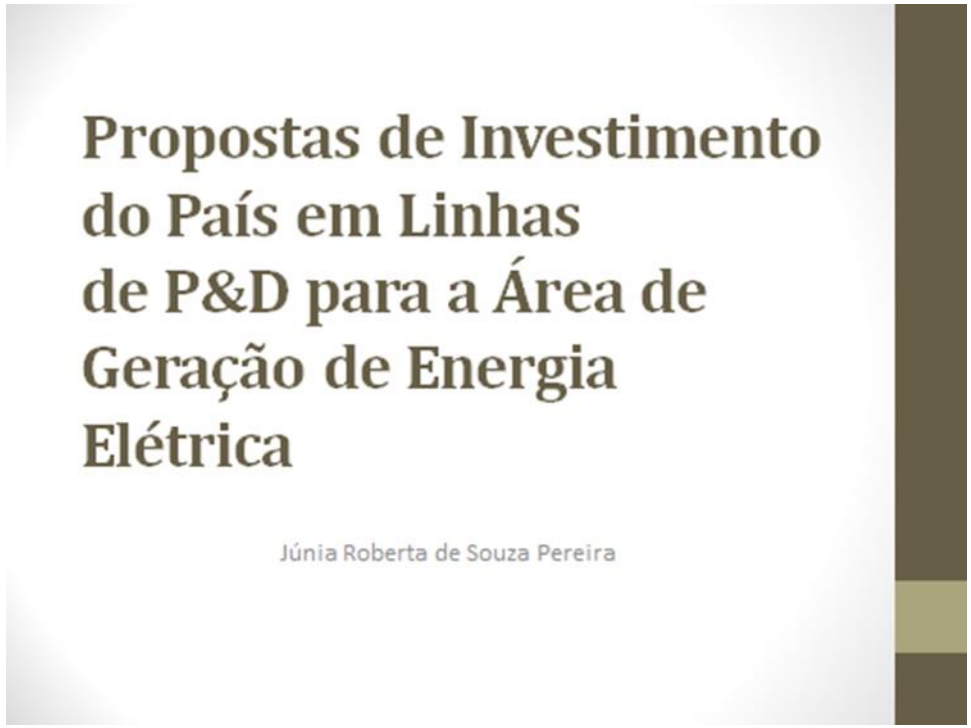
Leilão de Energia de Reserva

- O Leilão de Energia de Reserva (LER) de 2008 conseguiu uma contratação substancial de bioeletricidade.
- A competição se deu somente entre projetos de geração com características semelhantes.
- Os resultados acabaram sendo muito positivos para o sistema elétrico, para a matriz elétrica e para os empreendedores.
- O LER adicionou 2.379 MW de potência instalada desta fonte ao SEB.

Leilão de Energia de Reserva

- Intenção dos empreendedores de buscar um equilíbrio entre as maiores taxas de rentabilidade do mercado livre e a maior previsibilidade do mercado cativo.

- A comercialização de bioeletricidade no mercado cativo permite que o negócio sucroenergético tenha um portfólio mais diversificado, com receitas totais um pouco menos voláteis.


Propostas de Investimento do País em Linhas de P&D para a Área de Geração de Energia Elétrica
Júnia Roberta de Souza Pereira

Objetivo

- Apresentar sugestões de linhas de P&D na área de eletricidade no Brasil.

- Propor prioridades de pesquisa relacionados à área energética, sobre os quais é pertinente envidar esforços, vislumbrando-se a utilização mais racional de fontes energéticas tanto do ponto de vista técnico, quanto do ponto de vista econômico.

Introdução

- O financiamento e a estruturação de linhas de P&D para o país na área de geração de energia elétrica são essenciais.
- Isso deve-se ao momento que o país atravessa atualmente, mas também à escassez deste insumo.
- É necessário o fornecimento de subsídios para a definição de políticas de incentivo para as alternativas energéticas sustentáveis ambientalmente que se mostrem atraentes/convenientes para o país.
- Estas políticas, de fato, necessitarão da adequada definição de critérios.
- Deve-se potencializar a atuação dos agentes responsáveis pela geração de energia no país e evitar que o consumo de energia seja um gargalo para o seu desenvolvimento econômico.

Introdução

A definição clara da política energética do país para o médio/longo prazo deve permanentemente integrar a agenda política do governo, caso se almeje a uma economia dinâmica e eficiente do ponto de vista energético-econômico e sustentável do ponto de vista ambiental.

- No sentido de apontar ações para o desenvolvimento de uma dada alternativa em conformidade com os objetivos do país, deve-se inserir o escopo das linhas de pesquisa e desenvolvimento aqui propostas.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- ***Cogeração: produção combinada de calor e eletricidade***
- Contexto propício à utilização de gás natural na geração de eletricidade devido:
- Ao aumento da oferta de gás natural no Brasil devido às importações oriundas da Bolívia e Argentina.
- A expectativa de aumento da produção nacional de gás natural.
- Configura-se no país a existência de superávit de gás e déficit de energia elétrica.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- A tecnologia de cogeração proporciona uma alternativa de aproveitamento mais racional, devido:

- O rendimento de utilização do gás natural poder, neste caso, situar-se entre 80-90%.
- A postergação do investimentos em unidades centralizadas de produção de eletricidade.
- A redução dos investimentos em linhas de transmissão.
- A redução das perdas decorrentes do transporte de eletricidade a longas distâncias.
- A redução dos impactos ambientais causados pelas obras de grandes unidades centralizadas de produção de eletricidade.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- Outras justificativas para implementação de sistemas de cogeração incluem a mesma inserir-se como:

- Resposta rápida para expansão da geração elétrica;
- Fator de aumento da competitividade industrial;
- Mecanismo de captação de capital privado para investimento na geração elétrica;
- Fator de aumento da confiabilidade do sistema elétrico brasileiro;
- Proteção aos consumidores contra falhas e restrições no seu fornecimento de energia.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- Existe no país significativo potencial de cogeração.
- Esse potencial está especialmente no setor industrial, destacando-se como mais promissores os setores químico, de papel e celulose, refino, siderúrgico e sucroalcooleiro.
- A situação atual não configura o aproveitamento adequado deste potencial de cogeração, devido principalmente a questões de ordem econômica e institucional.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- Barreiras de desenvolvimento da cogeração no país:
- Aspectos econômicos como níveis tarifários da demanda suplementar de reserva (*back up*) e de venda de excedentes elétricos à rede.
- Competitividade do uso do gás.
- Aspectos relacionados à expansão da malha de distribuição de gás, quanto institucionais, no sentido de definir regras claras.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- Desdobrando-se os subtemas para estudos de cogeração, sugerem-se:

- Impacto de níveis tarifários (gás e eletricidade) sobre a viabilidade das instalações de cogeração;
- Aspectos relacionados à conexão do cogerador à rede;
- Influência do mercado competitivo de eletricidade sobre a instalação de unidades de cogeração;
- Inserção da cogeração no Brasil em projetos de MDL;
- Estratégias e posicionamento dos agentes do mercado quanto ao investimento em cogeração;
- Aspectos técnico-econômico- institucionais ligados à expansão da malha de distribuição de gás natural.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- ***Uso eficiente de energia***

- Constitui-se numa medida que permite à sociedade como um todo utilizar menos energia, sem reduzir o seu nível de conforto, ou ainda, possibilita produzir a mesma quantidade de um dado bem utilizando menor quantidade de energia.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- Benefícios do uso eficiente de energia:

- Migração para tecnologias mais eficientes na utilização de energia.
- Geração de empregos melhor distribuídos temporal e espacialmente.
- Significativa redução de impactos ambientais.

Efeito multiplicador da conservação de energia: ao mesmo tempo que ela dinamiza a economia , tem implicações evidentes sob o ponto de vista ambiental.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- No que tange ao uso eficiente de energia, as propostas de temas a serem financiados incluem:

- Projetos de educação e treinamento em eficiência energética, desde o ensino fundamental até os funcionários de empresas;
- Levantamentos setoriais de potencial de conservação de energia;
- Criação de banco de dados de tecnologias eficientes de utilização de energia e estruturas de disseminação da informação;
- Instrumentos de incentivo à adoção da prática do uso eficiente de energia;
- Desenvolvimento tecnológico de equipamentos mais eficientes na utilização de energia.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- ***Gerenciamento pelo lado da demanda(GLD)***
- Envolve o direcionamento de esforços na gestão da carga e eficiência energética no nível do consumidor final.
- Podem incluir também a substituição inter-energéticos.
- Tais medidas permitem achatar o pico da curva de carga elétrica do sistema, redundando na necessidade de menores requisitos de instalação da capacidade de geração.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- Assim, o investimento em programas de GLD traz como benefícios:

- Disponibilização de potência ao sistema;
- Melhoria no serviço prestado pela concessionária de distribuição;
- Eficiência energética;
- Postergação de investimentos na expansão do sistema;
- Impactos ambientais evitados pela não expansão do sistema de geração de eletricidade;
- A criação de consciência da sociedade sobre a importância da eficiência na utilização da energia.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- Subtemas propostos para P&D em GLD:

- Identificação de "*trade off*" entre as alternativas de geração;
- Avaliação da competitividade entre fontes substitutas;
- Sistemas de incentivo à adoção de programas de GLD.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- ***Geração Distribuída***
- Envolve a geração e o armazenamento de energia de forma a modular e em instalações situadas próximas ao usuário final, podendo estar conectadas ou não à rede de distribuição.

- As principais tecnologias de geração distribuída incluem:
- Geração através por uso de biomassa (lixo urbano e rejeitos agrícolas);
- Geração eólica;
- Geração por aproveitamento de energia solar;
- Células combustíveis; Sistemas turbo e motogeradores;
- Microturbinas;
- Sistemas de armazenamento de energia.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- O excesso de oferta de gás no curto/médio prazo no Brasil configura uma oportunidade de investimento em sistemas de geração distribuída baseados no uso de gás natural.

- Nem toda a tecnologia de geração distribuída é prontamente aplicável, principalmente no que tange a custos destes equipamentos e a formas de comercialização.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- Subtemas propostos:

- Inventário e criação de banco de dados sobre regiões potencialmente produtoras de eletricidade por fontes renováveis, assim como informações de tecnologias de aproveitamento deste potencial;
- Análise de estrutura de incentivos econômico institucionais por fonte renovável;
- Capacitação nacional no desenvolvimento de tecnologia aplicada ao emprego de fontes renováveis;
- Aspectos ligados à complementação e interligação destas fontes à rede.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- Apoio ao estabelecimento de um laboratório nacional de avaliação de componentes e sistemas ;
- Fortalecimento da indústria nacional de módulos fotovoltaicos, equipamentos periféricos e acessórios, minimizando o impacto da importação de equipamentos;
- Associação e/ou participação do Brasil em esforços globais de desenvolvimento tecnológico ;
- Desenvolvimento industrial de itens intensivos em mão de obra e periféricos para sistemas;
- Desenvolvimento aerodinâmico de aerogeradores adequados às condições tropicais do Brasil.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- ***Desenvolvimento de ferramentas de planejamento para o setor energético brasileiro***
- Antecipar a demanda de energia e potência do país, permitindo antever questões relativas à expansão do sistema elétrico nacional
- O principal objetivo é capturar tendências e a sensibilidade de resposta do sistema energético.
- Uma miríade de respostas indicativas pode ser obtida através do uso de ferramentas de projeção/análise, possibilitando o planejamento e o adequado posicionamento do setor energético quanto ao futuro.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- ***Redirecionamento do perfil produtivo do setor industrial brasileiro***

- O setor industrial é bastante significativo na economia nacional e na demanda de energia.

- A intensidade energética tem crescido.

- Redirecionar o perfil produtivo brasileiro para setores de produção de bens de maior valor agregado proporciona ao país estar em contínuo processo de atualização tecnológica.

Justificativa das propostas de linhas de P&D

- Portanto, dentro da competência da área energética, para a alteração do perfil produtivo brasileiro, sua contribuição pode ser dada abordando-se os seguintes temas:

- Criação de banco de dados de tecnologias eficientes no uso de energia;
- Incentivo ao desenvolvimento interno de tecnologias de produção mais eficientes;
- Avaliação impactos do redirecionamento do perfil produtivo brasileiro na matriz energética;
- Identificação dos propulsores de desenvolvimento desta mudança, estabelecendo-se políticas de incentivo adequados.

Referências

- *Centro de Gestão e Estudos Estratégicos* - **Propostas de Investimento do País em Linhas de P&D para a Área de Geração de Energia Elétrica.**

Perspectivas e Desafios Econômicos e Políticos da Integração Energética na América do Sul e o papel das empresas estatais

A integração energética no âmbito da integração produtiva na América do Sul

- Crescimento econômico-social e produção/consumo de energia elétrica são variáveis que se condicionam e relacionam mutuamente em sua dinâmica de expansão.
- Alcançar um nível mais alto de desenvolvimento depende de políticas econômicas bem definidas e das escolhas dos respectivos dirigentes.

A situação da América do Sul

- Com a hidroeletricidade, há a possibilidade de garantir a oferta necessária para expandir a produção industrial.
- Diminuição relativa e gradativa da dominância da indústria dos países mais industrializados.
- países menos desenvolvidos → exportar matérias-primas e importar produtos industrializados.
- É necessário o desenvolvimento da produção industrial em larga escala, para atender o mercado interno e o avanço no mercado mundial com produtos industrializados competitivos.

O Papel da integração energética

- Os países que detém potencial hidroelétrico apresentam condições físicas para criar uma poderosa alavanca para acelerar o processo de industrialização.
- A maior capacidade de geração hidroelétrica na região tende a se constituir em importante incentivo para a instalação de indústrias em mais países da região sul americana.
- A integração energética permitirá compensar eventuais disparidades e insuficiências hidrológicas com a energia excedente de outros países.

O Papel da integração energética

- A integração energética permite alcançar uma maior confiabilidade dos sistemas para enfrentar adversidades climáticas, problemas técnicos e picos de consumo.
- A possibilidade de compensar e complementar as instalações de várias regiões permite aproveitar melhor os investimentos realizados.
- Um primeiro movimento de integração de energia elétrica se dá nas regiões fronteiriças a fim de garantir a geração e transmissão.

Perspectivas da integração energética

As perspectivas de ampliação do processo de integração energética estão assentadas em quatro premissas:

- O crescimento da demanda de energia elétrica se dará a taxas elevadas.
- O aumento da oferta da capacidade instalada pode se dar com base nos próprios recursos nacionais renováveis.
- Há um forte potencial de complementaridade entre os países da região.
- Nos anos 90 os países da América do Sul na sua quase totalidade, promoveram profundas reformas do setor elétrico.

A Função Catalisadora e Integradora do Brasil

- O Brasil apresenta-se como consumidor possível de novas usinas hidroelétricas na região e apresenta-se também como financiador dessas obras.
- O sistema elétrico brasileiro está especialmente interessado em melhorar a confiabilidade do sistema sul-americano como um todo.
- O país poderá absorver quantidades razoáveis da energia gerada.

A Função Catalisadora e Integradora do Brasil

- O Brasil tem na região dois grandes projetos de integração energética: Itaipu e o Gasoduto Bolívia - Brasil.
- Estas duas ações de integração energética demonstram, de forma clara e objetiva, o quanto foram e são importantes e benéficas para os países envolvidos.
- Os eventuais problemas vinculados às negociações econômicas não impediram, **em nenhum momento**, o suprimento de energia elétrica e gás natural para o mercado brasileiro.

A postura brasileira atual frente à integração energética regional

- Para o Brasil o resultado geral é altamente proveitoso, já que permite manter e expandir o emprego industrial.
- A ação de empresas estatais favorecerá em muito uma ação estatal que permitirá um aproveitamento dos recursos naturais energéticos da forma mais conveniente para nossas nações.

Empresas Públicas na integração produtiva e energética da América do Sul
• Empresas brasileiras se destacam como grandes investidores em outros países da região.
• Investimentos de mais longo prazo, que envolvem maiores riscos econômicos e políticos, dificilmente são realizados por empresas privadas.
• O objetivo geral da integração regional, e em especial dos sistemas elétricos nacionais, faz parte do programa de muitos governos com apoio popular na América do Sul. E as empresas estatais serão o seu instrumento privilegiado.

Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2020: Análise do método, metas e riscos.

Introdução

- O planejamento anuncia as diretrizes estratégicas a serem adotadas com o objetivo de garantir o equilíbrio dinâmico entre a oferta e a demanda de energia em bases economicamente competitivas e ambientalmente sustentáveis a médio e longo prazo.
- Ele é imprescindível para atender à crescente demanda por energia.
- A importância do planejamento é ainda mais estratégica em países emergentes, como o Brasil.

Introdução

- A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), realiza os seguintes estudos:
- Plano Nacional de Energia (PNE), que fornece estimativas para os parâmetros de comportamento de longo prazo do setor elétrico brasileiro.
- Plano Decenal de Expansão da Energia (PDE), que analisa as perspectivas do setor energético brasileiro para os próximos 10 anos, publicado a cada ano.

Introdução

- O objetivo deste estudo é desenvolver uma análise crítica do PDE 2020 no que se refere especificamente ao setor elétrico.

- Foram identificados os seguintes fatores de risco que serão os objetivos específicos da análise:

- (i) Licenciamento ambiental para empreendimentos hidroelétricos e de linhas de transmissão;
- (ii) Atrasos no cronograma de implementação dos parques eólicos; e
- (iii) Condições para a expansão da oferta de bioeletricidade na matriz brasileira.

A Importância do Planejamento Energético e de sua Execução

- O novo modelo do setor elétrico, promulgado em 2004, retomou o planejamento do setor com vistas a atender a três objetivos:

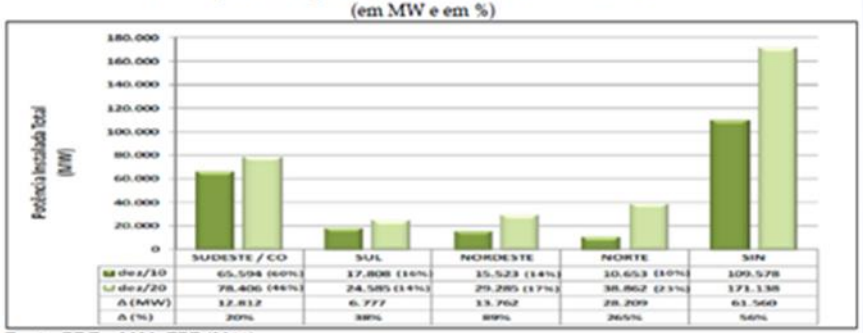
- (i) garantir a expansão da capacidade instalada para atender o crescimento da demanda;
- (ii) modicidade tarifária; e,
- (iii) universalização do acesso à eletricidade.

A Importância do Planejamento Energético e de sua Execução

- No que se refere à execução das metas estabelecidas pelo PDE, duas questões merecem ser ressaltadas:
- É preciso que o planejamento ocorra *ex-ante* à realização dos investimentos, porque é justamente o planejamento que deve definir o perfil dos investimentos a serem realizados.
- Nos leilões reversos para geração, a variável "custo" é o principal parâmetro de seleção dos projetos a serem contratados.

O Setor Elétrico no PDE 2020

Evolução da Capacidade Instalada do SIN: 2010-2020
(em MW e em %)



	SUDESTE / CO	SUL	NORDESTE	NORTE	SIN
dez/10	65.594 (60%)	17.808 (16%)	15.523 (14%)	10.653 (10%)	109.578
dez/20	78.406 (46%)	24.585 (14%)	29.285 (17%)	38.862 (23%)	171.138
Δ (MW)	12.812	6.777	13.762	28.209	61.560
Δ (%)	20%	38%	89%	265%	56%

Fonte: PDE – 2020, EPE (2011).

O Setor Elétrico no PDE 2020

- A energia contratada via leilões tem que ser compatível e convergente com a matriz elétrica estratégica proposta pelo PDE.
- A adoção de mecanismos e restrições nos editais dos leilões pode permitir que a energia contratada seja compatível com as premissas do planejamento.
- A implementação de políticas pelo lado da oferta permite o desenvolvimento de fontes que ainda não possuem um custo mais elevado, criando as condições necessárias para essa inserção ocorra em bases competitivas.

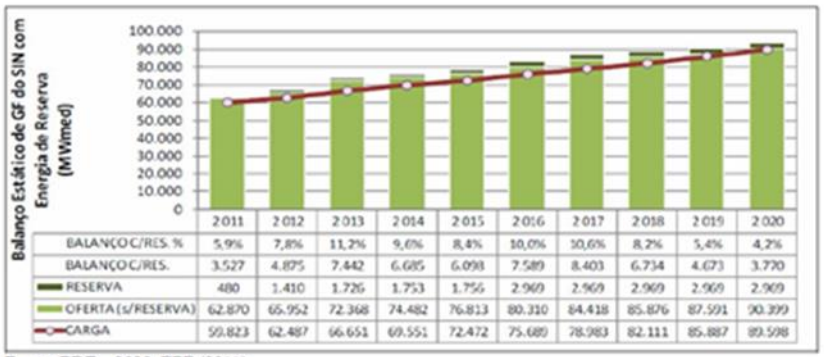
O Setor Elétrico no PDE 2020

- Carga de energia elétrica no SIN em 2020: 88.596 MWm
- Taxa de crescimento (2010 a 2020): 4,6%
- Carga de demanda instantânea: 110.396 Mwmédios

- A expansão no horizonte decenal que consta no PDE 2020 já se encontra em grande parte contratada em função dos leilões de energia nova realizados para o horizonte temporal até 2016.

O Setor Elétrico no PDE 2020

Balanço Estático de Garantia Física 2011-2020
(em MWmédio e em %)



	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
BALANÇO C/RES. %	5,9%	7,8%	11,2%	9,6%	8,4%	10,0%	10,6%	8,2%	5,4%	4,2%
BALANÇO C/RES.	3.527	4.875	7.442	6.685	6.098	7.589	8.403	6.734	4.673	3.770
RESERVA	480	1.410	1.726	1.753	1.756	2.969	2.969	2.969	2.969	2.969
OFERTA (s/RESERVA)	62.870	65.952	72.368	74.482	76.813	80.310	84.418	85.876	87.591	90.399
CARGA	59.823	62.487	66.651	69.551	72.472	75.689	78.983	82.111	85.887	89.598

Fonte: PDE – 2020, EPE (2011).

O Setor Elétrico no PDE 2020

- O subsistemas Sudeste/Centro Oeste e Sul tornam-se deficitários ao longo do período.

- O déficit destes dois subsistemas é suprido pelo superávit dos subsistemas Nordeste e principalmente Norte.

O Setor Elétrico no PDE 2020

- Necessidade de ter na matriz elétrica centrais termoelétricas que permitam:
- Dar mais segurança à operação do sistema
- Garantir o equilíbrio dinâmico entre oferta e demanda de energia elétrica com o menor impacto ambiental e custo econômico possível.

- Há grande assimetria entre o processo de licenciamento de um projeto hidroelétrico e de um projeto termoelétrico.

- Para as centrais hidroelétricas o processo de licenciamento é mais complexo, caro e moroso.

Pontos Críticos do PDE 2020

- Existem riscos associados ao cumprimento do cronograma de implementação das usinas hidroelétricas que constam no PDE 2020.

- Estes riscos são inerentes a eventuais atrasos na concessão de emissão da licença prévia, a disputas jurídicas que atrasam os leilões de aproveitamentos hidroelétricos e a própria construção dos empreendimentos.

- As dificuldades de cumprir cronogramas de licenciamento ambiental representam um sério e crescente fator de risco para a ampliação do sistema de transmissão.

Pontos Críticos do PDE 2020

- Em relação aos projetos eólicos já contratados, de acordo com ANEEL (2011), aproximadamente um terço dos empreendimentos com outorga de concessão já concedida encontram-se atrasados.

- Entre as principais causas dos atrasos destacam-se:

- A obtenção de licenciamento ambiental.
- A dificuldade de obtenção de financiamento.
- O risco técnico-econômico inerente a estes novos projetos.
- Os custos das instalações e serviços para a implantação de parques eólicos.

Pontos Críticos do PDE 2020

- Todos os novos projetos de plantas para produção de etanol e açúcar já são construídos maximizando a produção de eletricidade com vistas à comercialização.

- Os principais entraves para tornar as plantas de cogeração mais eficientes e aptas a gerarem excedentes de energia para serem comercializados no SEB são:
- Condições de financiamento.
- Custo do investimento.

- Contudo, a projeção de expansão da bioeletricidade no PDE 2020 deverá se viabilizar sem riscos.

Potencial de Conservação de Energia

Júnia Roberta de Souza Pereira

Introdução

- Há a possibilidade de se obter resultados significativos em conservação de energia no Brasil.
- Em economias mais eficientes que a nossa foi possível observar redução no consumo de 1,5%/ano.
- A conclusão é que a necessidade por mais energia continue existindo no Brasil.
- No caso da eletricidade, há uma tendência mundial da sua demanda aumentar acima dos outros energéticos.

Tecnologias importantes para a conservação de eletricidade hoje

- As tecnologias que poderão contribuir para a redução de eletricidade nos próximos 10 anos são aquelas que estão sendo implementados hoje ou que pelo menos já estejam em fase final de desenvolvimento industrial.

- Está havendo uma migração contínua de diversas fontes de energia secundária para a eletricidade, em função da facilidade de seu uso.

Tecnologias importantes para a conservação de eletricidade hoje

- A inércia de se colocar no mercado novas tecnologias é grande.
- No setor residencial o decréscimo no consumo de eletricidade virá da melhoria do desempenho dos refrigeradores, do ar condicionado e da iluminação.
- Na iluminação, o uso de lâmpadas compactas fluorescentes se ampliará.

Maiores oportunidades para o futuro

- Melhorias na performance de geladeiras e ar condicionados graças ao uso generalizado de motores de rotação variável.
- As lâmpadas T5 deverão ficar bem populares e a utilização de LED na iluminação pode ser plausível.

Flexibilidade da matriz energética

- A participação crescente de geração térmica é irreversível pelo menos nos próximos 10 anos.
- A infraestrutura para trabalhar com gás natural já foi montada e está sendo ampliada, o que garantirá facilidades e promoverá a geração de eletricidade por turbinas a gás.
- Outro energético que deverá ocupar uma fração percentual maior da matriz energética é a biomassa, essencialmente pelo uso de cana-de-açúcar.
- O etanol derivado da cana tem um bom potencial de crescimento, quer para uso no país, quer para exportação.

Flexibilidade da matriz energética

- ***Tecnologias de geração de eletricidade***
- O futuro da hidroeletricidade depende muito de investimentos públicos.
- As PCHs tem custo por kW muito alto.
- Energia geotérmica é quase que indisponível no Brasil.
- Vamos ter que expandir nosso suprimento de eletricidade através do uso do gás natural, de carvão e da biomassa.

Flexibilidade da matriz energética

- As fontes primárias tradicionais de energia para as térmicas são o gás natural e o carvão.
- Essas duas opções devem ser perseguidas e projetos preparados com a melhor tecnologia para atender a demanda de eletricidade.
- Além das fontes primárias tradicionais, devemos pensar no uso das fontes renováveis.
- A biomassa, com a vantagem de permitir geração contínua durante as horas do dia e mesmo durante muitos meses do ano, é uma boa opção.

Flexibilidade da matriz energética

- Já, outras alternativas como energia solar via fotovoltaica e aquecedores solares, deverão contribuir muito pouco para a produção de eletricidade.

- Para a geração de eletricidade faz-se necessário altas temperaturas e tal tecnologia ainda é muito custosa.

Podemos produzir algum energético especial?

- As emissões do setor de transporte já são as maiores dentre os diversos usos finais (edifícios, indústria, transporte e agricultura) nos países desenvolvidos.
- É, pois, razoável que na busca por menos emissões, os países que têm limitações a cumprir se interessem em reduzir as emissões no setor de transporte.
- Apesar dos automóveis ficarem mais eficientes, a demanda pelos mesmos cresceu de forma tão grande que superou os avanços da eficiência.

Podemos produzir algum energético especial?

- A melhor "adaptação" ao uso intensivo de automóveis pela sociedade nos parece a utilização de um combustível renovável, como é o caso do etanol.

- Como álcool de cana -de-açúcar só pode ser produzido em regiões tropicais ou próxima dessas e o Brasil detêm excelente tecnologia para isso, nos parece que poderemos fazer grande contribuição para o mundo usar largamente esse combustível alternativo.

Podemos produzir algum energético especial?

- A fermentação do caldo de cana em etanol, produz quantidades (em massa) praticamente equivalentes de etanol e CO_2.
- Esse CO_2 pode ser facilmente recolhido e, em princípio, guardado em reservatório.
- Uma tecnologia desse tipo teria o mérito fantástico de permitir produzir um combustível líquido e simultaneamente remover CO_2 da atmosfera.
- Ou seja, numa única operação usarse- ia duas opções, entre as poucas existentes, para reduzir as mudanças climáticas, consequência dos gases de efeito estufa.

Demandas em treinamento e desenvolvimento tecnológico para o etanol

- É necessário um esforço promocional do produto e desenvolvimento tecnológico para produzir etanol a um preço atrativo.
- Faz-se necessário também avançar a tecnologia agrícola e industrial da cana-de-açúcar e do seu processamento, bem como melhorar a capacidade de gerenciar o sistema agroindustrial.

Demandas em treinamento e desenvolvimento tecnológico para o etanol

- Precisaremos de:
- Ações a nível diplomático e de negociação comercial internacional.
- Ações de promoção do produto perante o consumidor potencial, informando das vantagens do novo combustível.
- Recursos para colocar grandes quantidades de etanol a custo zero para fins de demonstração.

Demandas em treinamento e desenvolvimento tecnológico para o etanol

- Inúmeros estudos mostram a possibilidade de avanços tecnológicos capazes de reduzir o custo do etanol e de estratégias de negócios também capazes de garantir o produto a preço menor.

- Uma das estratégias é o uso mais completo da cana-de-açúcar, produzindo etanol, açúcar e eletricidade para venda a terceiros.

Como acelerar as oportunidades de P&D e aplicação desse "know-how" no mercado

- Algumas oportunidades de avanço tecnológico estão bem estabelecidas, tais como:
- Procurar, através da bioengenharia, variedades de cana, com maior conteúdo de açúcar e com maior produtividade.
- Desenvolver variedades capazes de armazenar grandes teores de açúcar durante os meses que precedem a colheita tradicional.

Como acelerar as oportunidades de P&D e aplicação desse "know-how" no mercado

- Avanços tecnológicos nos equipamentos usados para a colheita mecanizada, reduzindo a quantidade de terra adicionada a cana, recolhendo melhor toda a biomassa útil e operando com maior eficiência.
- Colheita de cana verde, de forma a permitir o uso da palha de cana como insumo energético.
- Avanços tecnológicos no sistema de separação do etanol e água. Grande quantidade de energia térmica é gasta no processo tradicional de destilação. Com o uso de membranas é possível reduzir a demanda por energia térmica.

Como acelerar as oportunidades de P&D e aplicação desse "know-how" no mercado

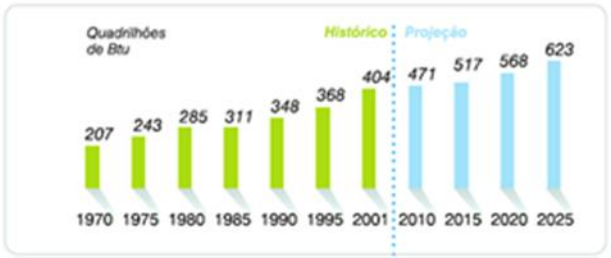
- Avanços tecnológicos nos sistemas de injeção de etanol nos motores, de forma a aumentar a eficiência.
- Desenvolvimento de tecnologia de hidrólise da biomassa, com o propósito de converter parte dos subprodutos do açúcar e álcool em etanol.

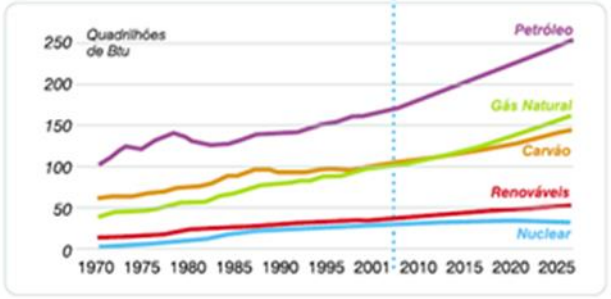
Referências

- Moreira, José Roberto. Potencial de Conservação de Energia. CGEE- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Julho de 2001.

Prospecção Tecnológica
Energia

Tendências mundiais para energia





Prospecção tecnológica

- **Estudos prospectivos** constituem poderosos auxiliares do planejamento e do gerenciamento dos níveis de incerteza.
- **Objetivo**
- Identificar tecnologias emergentes e pesquisas estratégicas relevantes para a formulação de políticas públicas, especialmente aquelas que envolvem forte componente tecnológico, considerando o sistema energético como um todo e as várias formas de energia primária e suas conversões até os usos finais.

Variáveis analisadas para avaliação e priorização de tópicos tecnológicos em energia

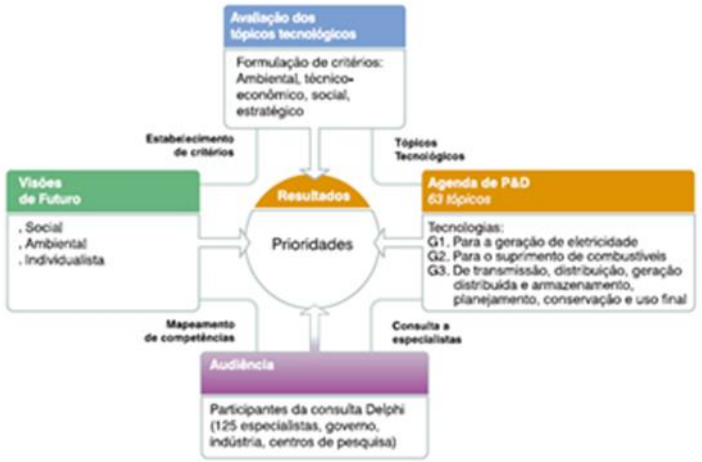


Figura Apresentação esquemática da inter-relação de objetivos do exercício

Mapeamento de competências na área de energia

- As seguintes áreas foram identificadas como concentrando boa parte das pesquisas científicas conduzidas no país:

- Gaseificação de biomassa;
- Produção de H2 de biomassa e seu uso;
- Utilização do biogás;
- Produção e utilização do álcool;
- Produção e utilização do biodiesel.

- Por outro lado, a atividade de pesquisa é modesta em: hidrólise de biomassa; produção de briquetes e produção de carvão vegetal.

Principais tipos de projetos e áreas de atividades

- **Usos finais de energia e planejamento energético**
- As principais atividades em P&D em andamento são as seguintes:

• Levantamento de dados, desenvolvimento de bancos de informação, a aplicação de ferramentas de georeferenciamento de dados;

• Desenvolvimento de modelos e softwares para apoio à decisão de interesse ao setor energético; metodologias para contabilizar efeitos e riscos ambientais do setor energético;

Principais tipos de projetos e áreas de atividades

- Apoio ao desenvolvimento de padrões de normas técnicas, elaboração de metodologias de testes de conformidade e ensaios em laboratório para os principais equipamentos de usos finais, incluindo também painéis fotovoltaicos e geradores eólicos;

- Projetos de demonstração e desenvolvimento de protótipos de algumas tecnologias de uso final e geração de energia (em particular, refrigeração, aquecimento solar, energia eólica), incluindo análises de mercado;

Principais tipos de projetos e áreas de atividades

- Análises de viabilidade técnico econômica e ambiental, incluindo considerações sobre ciclos de vida, contribuições para estudos de mudanças climáticas (incluindo trabalhos na área de cogeração, geração distribuída, sistemas convencionais de pequeno e grande portes);

- Trabalhos de apoio às atividades das agências de regulação: desenvolvimento de conceitos, critérios, análises abrangentes (do tipo estado da arte ou análise de conjuntura).

Principais tipos de projetos e áreas de atividades

- **Eletricidade**
- O levantamento das atividades dos grupos de pesquisa na área de eletricidade mostra as seguintes linhas principais:
- **Geração**: As pesquisas desenvolvidas concentram-se na produção de eletricidade a partir de PCH'S, Biomassa e Fontes Alternativas de Energia.

Principais tipos de projetos e áreas de atividades

- **Transmissão:** Estão em andamento pesquisas objetivando o aumento de capacidade de transmissão, isto é feito através da otimização da distribuição de campo elétrico superficial- LPNE.
- Um outro aspecto em destaque é o da qualidade de energia elétrica, evidenciando-se a elaboração de metodologias para avaliação de perturbações no sistema elétrico, estudos envolvendo CEM e IEM, modelagem e simulação de sistemas que utilizam FACTS.
- Existem vários estudos de equipamentos, considerando-se a análise de desempenho, desenvolvimento de técnicas preditivas para avaliação de condições de operação; desenvolvimento de software.

Principais tipos de projetos e áreas de atividades

- **Distribuição:** Grande parte dos trabalhos em execução envolve as questões de redução de perdas e combate às fraudes.
- Um dos casos é a elaboração de metodologia para análise de perdas em alimentadores. O outro se refere à estimação da curva de demanda para consumidores de baixa tensão.
- No que diz respeito ao combate às fraudes há desenvolvimento de sistemas de medição remota de energia com vistas à tarifação.
- Necessidade de implantação de software para viabilizar a comunicação através da rede de distribuição.

Principais tipos de projetos e áreas de atividades

- Pesquisas envolvendo software para a análise de transferência de distribuição, acompanhamento do balanço de energia e cálculo de campo eletromagnético.
- Pesquisas para monitoração da qualidade de energia elétrica.
- Análise de ações envolvendo equipamentos.
- Aplicabilidade da teoria de potência complexa, envolvendo análise de transitórios de máquinas síncronas e compensação de potência ativa e reativa em sistemas elétricos.

Principais tipos de projetos e áreas de atividades
Petróleo e gás natural
Neste caso, as principais áreas de atividades dos grupos estão bastante alinhadas com as prioridades estabelecidas pela Petrobras e pelo CTPetro.
No CENPES/Petrobras existem diversos projetos em várias categorias: pesquisa básica, aplicada e inovação tecnológica.
Nas universidades, a regra geral é de grupos de pesquisa com parceria com empresas (na grande maioria a própria Petrobras), com um bom nível de publicações científicas, mas sem muitos registros de inovação e patentes.

Principais tipos de projetos e áreas de atividades

- **Biomassa**

- **Cana-de-açúcar:** na área agrícola, os maiores interesses estão na identificação de novas variedades de cana com maior produtividade, resistência a pragas e doenças e espécies de desenvolvimento precoce, para o propósito de ampliar a época da colheita de cana.

- Na área de colheita da cana destaca-se o desenvolvimento de colheitadeiras mecânicas de alta eficiência e produtividade para a separação eficaz de cana e de palha.

- Na área de transformação da cana em açúcar e álcool há espaço modesto para diminuir as perdas nas diversas etapas do processo, porém não se antevêem grandes inovações, visto que a eficiência total já supera os 90%.

Principais tipos de projetos e áreas de atividades

- **Papel e celulose**
- Esse setor tem crescido sistematicamente no país e a competição internacional requer contínuos avanços tecnológicos.
- As fábricas têm se aparelhado para gerar mais energia a partir da biomassa, mas a tecnologia sendo usada é a da turbina a vapor.
- Alguns poucos trabalhos acadêmicos existem, geralmente propondo soluções técnicas envolvendo gaseificação ou alertando a sociedade e os tomadores de decisão para o potencial energético disponível.

Principais tipos de projetos e áreas de atividades

- **Carvão Vegetal**
- Os avanços técnicos têm sido feitos em empresas que utilizam o produto, ou pela concessionária de eletricidade de Minas Gerais.
- A atividade é economicamente importante no país e merece mais interesse dos centros de pesquisas e da universidade.
- Há grande potencial de melhoria na conversão de madeira em carvão aumentando a produtividade e o uso de subprodutos.
- Há necessidade de estudos para garantir o uso sustentável de madeira como matéria-prima.

Principais tipos de projetos e áreas de atividades

- **Biodiesel**
- O principal objetivo é verificar a viabilidade do biodiesel competir comercialmente com o diesel num futuro próximo.
- No Brasil o interesse tem se concentrado, principalmente, numa nova técnica de transesterificação usando etanol.
- Desde o ano 2000, ressalta-se a atuação da universidade (USP), Centros de Pesquisas (TECPAR e COPPE) e de empresários (ABIOVE) para testes de biodiesel em motores de veículos.

Principais tipos de projetos e áreas de atividades

- **Energia solar**

- Existem três grandes áreas de atuação: conversão heliotérmica, conversão fotovoltaica e estudos sobre o recurso solar.

Principais tipos de parcerias

- Na área de planejamento energético, nota-se uma forte inserção de alguns grupos acadêmicos nacionais em projetos internacionais.
- Os programas de P&D e Eficiência Energética têm sido responsáveis pelo surgimento e manutenção de diversos desses grupos.
- No setor de óleo e gás, já existe uma tradição da Petrobras em estabelecer parcerias com universidades para formação de recursos humanos, apoiando programas de pós-graduação.

Principais tipos de parcerias

- Mais recentemente, a ANP vem apoiando com bolsas de estudos alunos de pós-graduação em 36 universidades de todo o país.
- No que se refere a projetos de pesquisa, a maioria dos grupos atuais estão sendo financiados através do CT-Petro.
- As atividades realizadas pela Petrobras/CENPES são constituídas por projetos de natureza básica e aplicada, e muitos produtos se transformam em inovações absorvidas pela Petrobras.

Principais tipos de parcerias

- A Petrobras tem sido a principal parceira dos grupos de pesquisas, com ausência de outras companhias de petróleo e gás de porte internacional ou localizadas no exterior.
- Muitos dos grupos de pesquisa possuem contatos com universidades no exterior.
- Na área de energia solar, existe uma crescente oferta de prestação de serviços dos grupos de pesquisas para os ministérios, utilizando laboratórios e bancadas de testes para verificação de características de painéis fotovoltaicos ou sistemas de bombeamento de água.

Principais tipos de parcerias

- Na área de biomassa, foram identificadas diversas instituições que atuam em parceria, envolvendo universidades (UNIFEI, UNIFACS, Unicamp, UNIR, Cenbio/USP, UFPA), centros de pesquisa (IPT, Cientec) e empresas (Cetesb, Copersucar).

- As atividades relacionadas com energia elétrica começam a se beneficiar cada vez mais de uma aproximação das concessionárias de eletricidade.

Conclusões

Tabela Tópicos tecnológicos prioritários "robustos"

Tópicos tecnológicos	
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel
61	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços
63	Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado
41	Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial
51	Desenvolvimento de sistemas elétricos isolados
18	Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc

Conclusões

- O recente episódio do racionamento pode explicar parcialmente a alta valoração dos tópicos relacionados com eficiência energética e a necessidade de planejamento.
- Tecnologias para o desenvolvimento de sistemas elétricos isolados embora tenham permanecido entre as prioridades foram as que apresentaram maior variação quando comparam-se as três visões: social, ambiental e individualista.
- A exploração energética da biomassa também aparece como destaque em futuros investimentos em P&D, seja para o desenvolvimento de biodiesel, seja como melhorias na produção de etanol e aproveitamento de resíduos de biomassa.

Referências

- Prospecção Tecnológica em Energia / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília: CGEE, 2005.

- Júnia Roberta de Souza Pereira

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA:
RESÍDUOS
Superintendência de
Tecnologia e Alternativas Energéticas
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Descritivo Básico
• Os resíduos sólidos são materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade.
• Resíduo ≠ Lixo
Resíduo
Pode ser reutilizado ou reciclado, adquirindo valor.
Lixo
Algo inútil, sem valor e indesejável.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

Descritivo Básico

- Os resíduos devem receber tratamento e destinação final adequada, dependendo de sua classificação.

- Se gerenciados de forma errada, podem acarretar:

Problemas ao meio ambiente.

Problemas à saúde humana.

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Destinação Final
• Os seguintes aspectos devem ser considerados para a escolha da destinação mais adequada:
Tipo de resíduo
Classificação do resíduo
Quantidade do resíduo
Métodos técnica e ambientalmente viáveis
Disponibilidade de tais métodos
Custos
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

Introdução

- Resíduos sólidos de origem urbana. Esses resíduos podem ser provenientes de residências, comércios, varrição, poda e feiras (público).

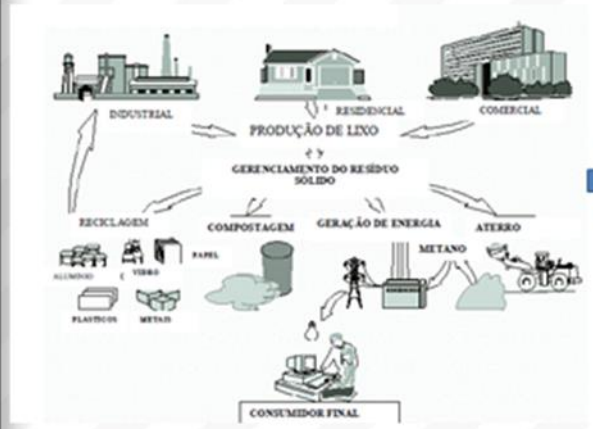
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

- O nível de desenvolvimento de uma região influencia diretamente sua produção de lixo.
- Outros fatores que apresentam influencia são:
  - densidade demográfica,
  - variações sazonais,
  - mudanças climáticas,
  - hábitos e costumes da população,
  - leis e regulamentações específicas, entre outros.

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

Destinação Final



Lixão

- Forma inadequada de destinação dos resíduos.
- Traz riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

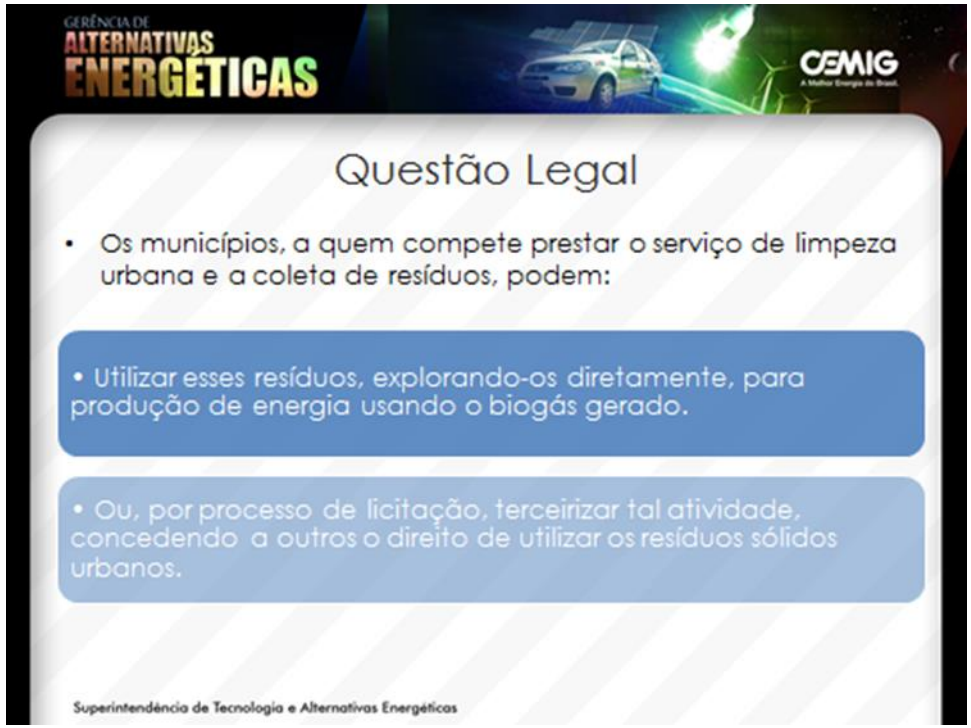
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

Geração de energia

- Benefícios estratégicos;
- Benefícios ambientais;
- Benefícios socioeconômicos;
- Emprego de mão-de-obra qualificada e não qualificada nas várias etapas do processo de recuperação energética.

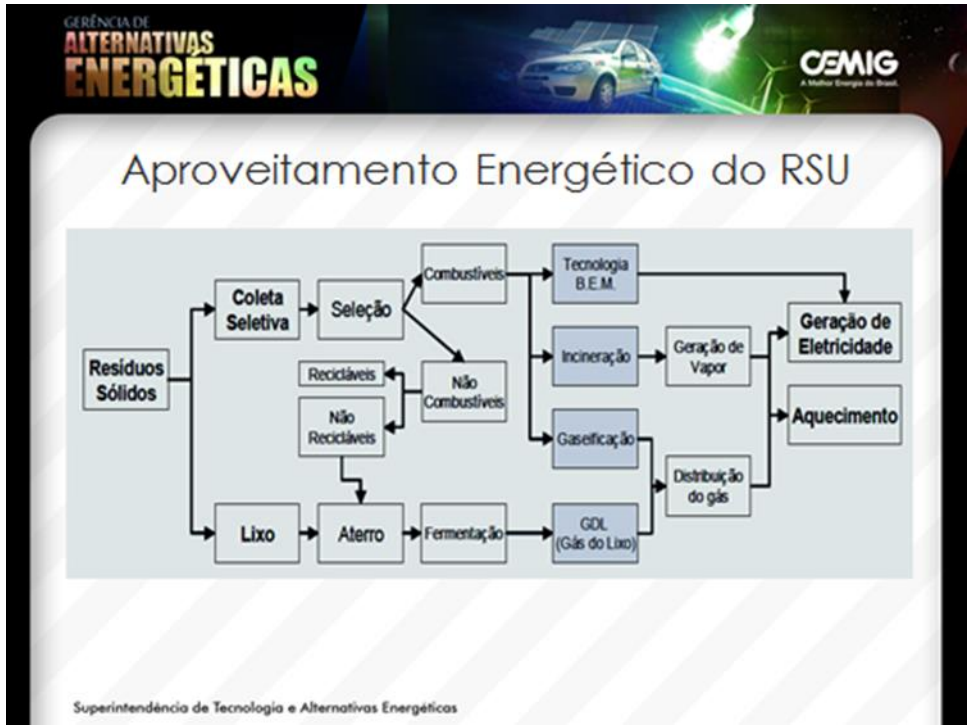
Aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos	
Biogás de aterro (base metano)	0,1-0,2 MWh/ton RSU
Digestão anaeróbica acelerada	0,1-0,3 MWh/ton RSU
Incineração RSU com Geração de Energia	0,4-0,6 MWh/ton RSU
Ciclo combinado RSU – Gás Natural	0,8-0,9 MWh/ton RSU

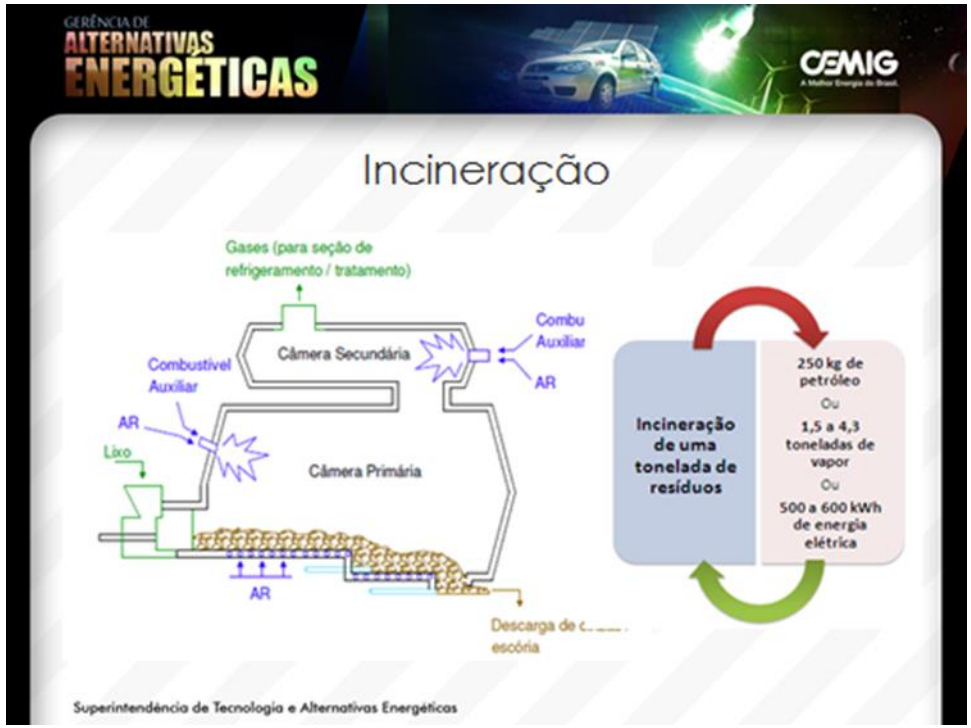
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Questão Legal
• Os municípios, a quem compete prestar o serviço de limpeza urbana e a coleta de resíduos, podem:
• Utilizar esses resíduos, explorando-os diretamente, para produção de energia usando o biogás gerado.
• Ou, por processo de licitação, terceirizar tal atividade, concedendo a outros o direito de utilizar os resíduos sólidos urbanos.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Política Nacional de Resíduos Sólidos
Não Geração
Reutilização
Tratamento
Redução
Reciclagem
Disposição Final Adequada
Assim, a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos incentiva a:
i) adaptação de aterros sanitários em usinas geradoras de energia elétrica; e
ii) promoção de significativas melhorias ambientais em vazadouros a céu aberto (lixões) via implementação de projetos de créditos de carbono.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil
Geração de RSU
(t/ano)
60.868.080
61.906.368
1,8%
2010
2011
Geração de RSU per capita
(Kg/hab/ano)
378,4
381,6
0,8%
2010
2011
Fontes: Pesquisas ABRELPE 2010 e 2011 e IBGE 2010 e 2011
Destinação Final em 2011
(t/ano)
INADEQUADO
41,94%
25.293.920
58,06%
32.240.529
ADEQUADO
Destinação Final em 2010
(t/ano)
INADEQUADO
42,44%
22.962.948
57,56%
31.194.949
ADEQUADO
Fontes: Pesquisas ABRELPE 2010 e 2011
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Aproveitamento Energético do RSU
Resíduos Sólidos
Coleta Seletiva
Seleção
Combustíveis
Recicláveis
Não Recicláveis
Não Combustíveis
Lixo
Aterro
Fermentação
Tecnologia B.E.M.
Incineração
Gaseificação
GDL (Gás do Lixo)
Geração de Vapor
Distribuição do gás
Geração de Eletricidade
Aquecimento
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Incineração
Gases (para seção de refrigeramento / tratamento)
Combu Auxiliar
Câmera Secundária
Combustível Auxiliar
AR
AR
Lixo
Câmera Primária
AR
Descarga de
escória
Incineração de uma tonelada de resíduos
250 kg de petróleo
Ou
1,5 a 4,3 toneladas de vapor
Ou
500 a 600 kWh de energia elétrica
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

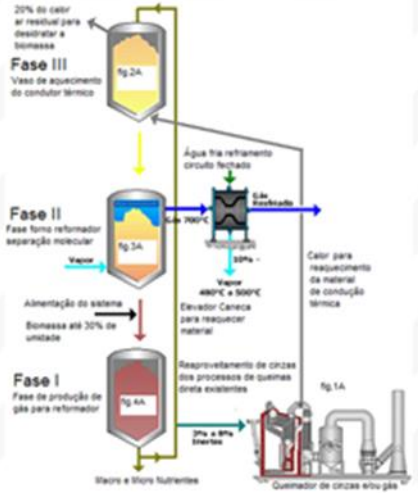
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Incineração
Vantagens
•Pode ser realizada próxima dos pontos de coleta dos resíduos, evitando o transporte;
•Reduz significativamente o peso e o volume dos resíduos;
•Requer uma área relativamente pequena de operação;
•O uso de técnicas para geração de energia através do resíduo reduz os custos de operação;
•É a melhor opção ambiental para muitos resíduos perigosos.
Desvantagens
•Nem todos os resíduos são incineráveis;
•Exige um alto investimento;
•São necessários operadores extremamente qualificados para sua operação;
•O processo de incineração produz ainda resíduos que precisam ser geridos;
•Alguns materiais fazem necessário o uso de combustível suplementar para auxiliar na queima.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

Gaseificação

- Na gaseificação, um combustível sofre oxidação parcial para produzir um gás.
- O gás pode ser utilizado como fonte de energia ou como matéria-prima para a fabricação de produtos químicos.

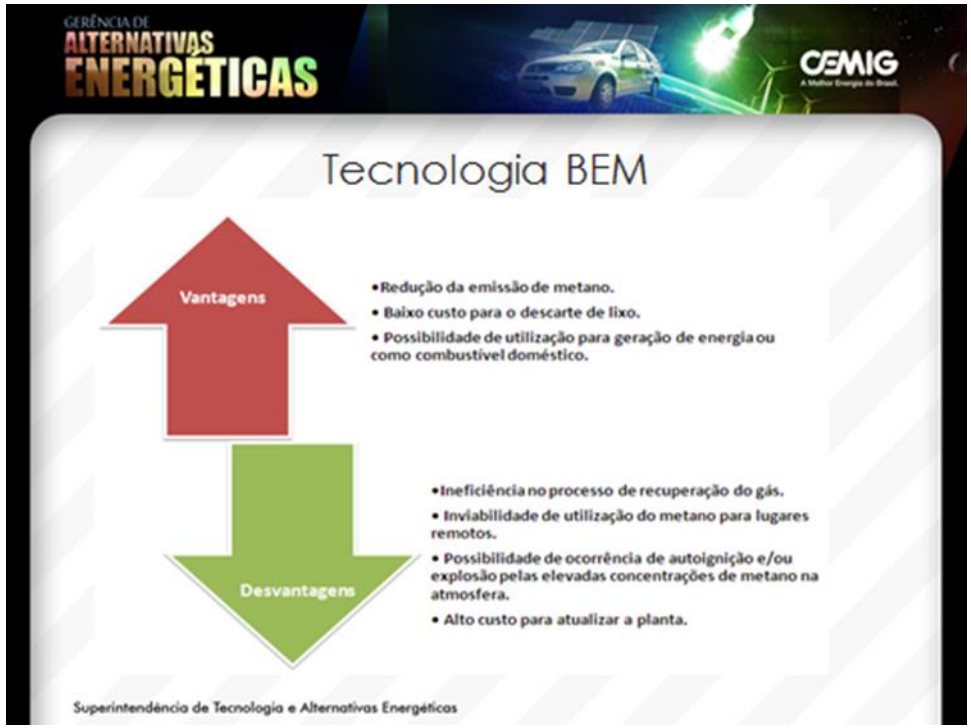


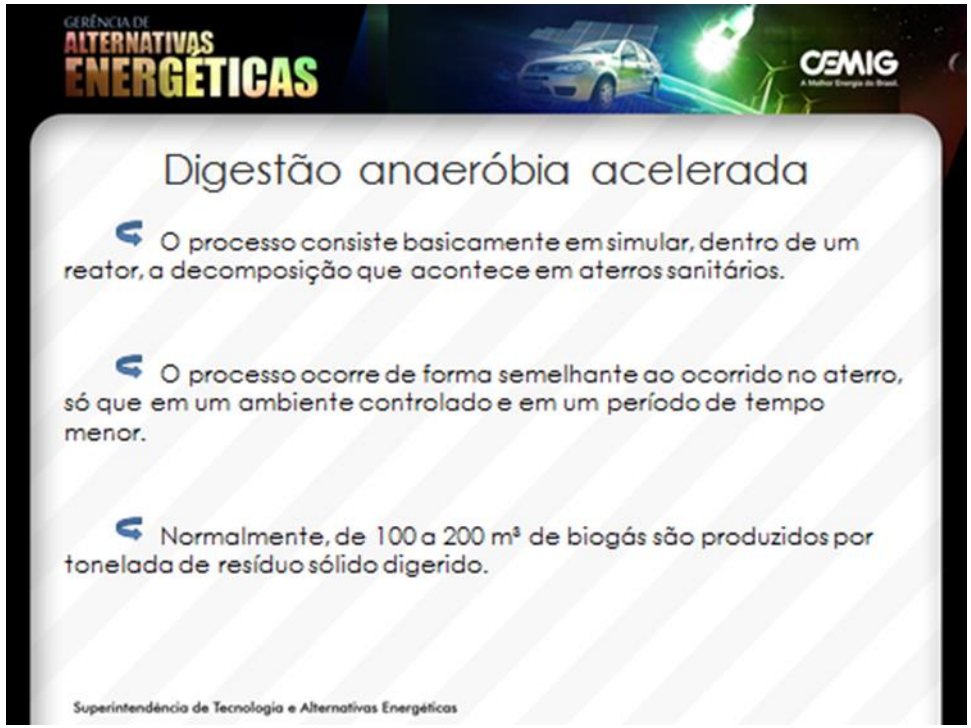
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Gaseificação
Vantagens
• Redução da quantidade volumétrica de RSU destinada ao aterro.
• O gás proveniente da gaseificação possui um volume 30% menor do que o produzido com uma mesma massa de RSU incinerado.
• Diminuição das emissões de particulados, já que as cinzas e o carbono residual permanecem no gaseificador.
• Associada a catalizadores, a gaseificação aumenta a produção de H_2 e de CO e diminui a produção de CO_2.
Desvantagens
• Manutenção regular requerida para o sistema de limpeza.
• Redução de eficiência do sistema de gaseificação, devido as perdas de calor e ao consumo de energia nos ventiladores.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Utilização do Gás do Lixo (GDL)
Essa tecnologia visa resgatar os gases oriundos da disposição de resíduos em aterros ou lixões e aproveitá-los para outros fins.
É o uso energético mais simples e mais utilizado do RSU.
Extração e coleta
1
Beneficiamento
2
Geração de energia
(por combustão)
3
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
Tecnologia BEM
A sigla BEM significa Biomassa-Energia-Materiais.
Consiste na formação de celulignina catalítica através do aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos.
A energia gasta na produção de celulignina equivale a 6,3% da energia contida na celulignina produzida.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

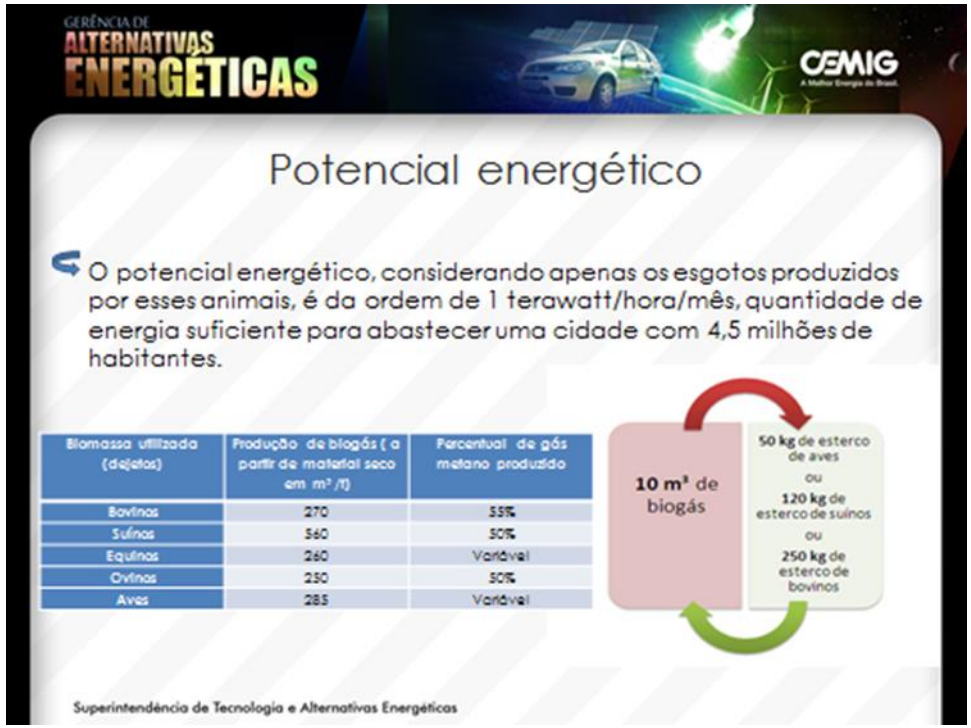

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Tecnologia BEM
Vantagens
•Redução da emissão de metano.
• Baixo custo para o descarte de lixo.
• Possibilidade de utilização para geração de energia ou como combustível doméstico.
Desvantagens
•Ineficiência no processo de recuperação do gás.
• Inviabilidade de utilização do metano para lugares remotos.
• Possibilidade de ocorrência de autoignição e/ou explosão pelas elevadas concentrações de metano na atmosfera.
• Alto custo para atualizar a planta.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

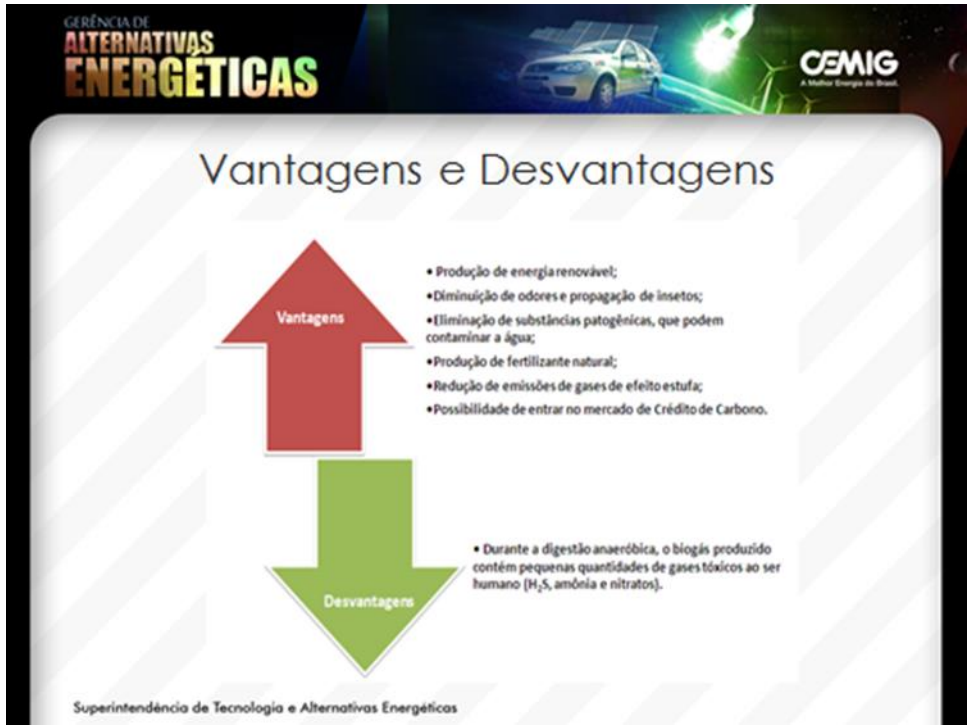

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Digestão anaeróbia acelerada
O processo consiste basicamente em simular, dentro de um reator, a decomposição que acontece em aterros sanitários.
O processo ocorre de forma semelhante ao ocorrido no aterro, só que em um ambiente controlado e em um período de tempo menor.
Normalmente, de 100 a 200 m³ de biogás são produzidos por tonelada de resíduo sólido digerido.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Digestão anaeróbia acelerada
Vantagens
• Aumento da vida útil dos aterros sanitários;
• Retirada da fração orgânica do RSU;
• Permite a coleta de todo o biogás gerado;
• Minimiza a emissão de gases de efeito estufa;
• Gera produtos valorizáveis (biogás e compostos).
Desvantagens
• Variação da composição dos resíduos;
• Perda de eficiência do processo, devido a mistura ineficiente de RSU e o lodo de esgoto.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
RESÍDUOS DA PECUÁRIA
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Técnicas de valorização energética dos resíduos
Biogás
Electricidade/Calor
Grupo: Motor - Gerador
Resíduo (Excreta)
Digerido/Efluente
Separador
Sólido/Fibra
Composto
Digestor
Líquido
Recolha de Resíduo (Excreta)
Armazenador de Líquido Clarificado
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
Potencial energético
O potencial energético, considerando apenas os esgotos produzidos por esses animais, é da ordem de 1 terawatt/hora/mês, quantidade de energia suficiente para abastecer uma cidade com 4,5 milhões de habitantes.
Biomassa utilizada (dejetos)
Produção de biogás (a partir de material seco em m³ /t)
Percentual de gás metano produzido
Bovinos 270 55%
Suínos 560 50%
Equinos 260 Variável
Ovinos 250 50%
Aves 285 Variável
10 m³ de biogás
50 kg de esterco de aves
ou
120 kg de esterco de suínos
ou
250 kg de esterco de bovinos
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
Vantagens e Desvantagens
Vantagens
• Produção de energia renovável;
• Diminuição de odores e propagação de insetos;
• Eliminação de substâncias patogênicas, que podem contaminar a água;
• Produção de fertilizante natural;
• Redução de emissões de gases de efeito estufa;
• Possibilidade de entrar no mercado de Crédito de Carbono.
Desvantagens
• Durante a digestão anaeróbica, o biogás produzido contém pequenas quantidades de gases tóxicos ao ser humano (H_2S, amônia e nitratos).
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

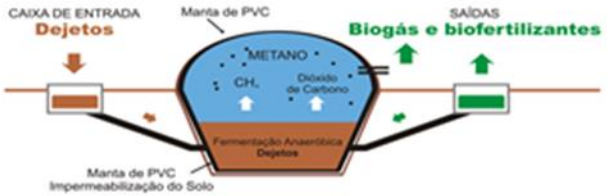
GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

Biodigestor

As condições necessárias para tornar o biodigestor um local favorável ao processo de fermentação são:

- Ausência de oxigênio;
- Temperatura adequada (entre 30° C e 45° C);
- Ausência de compostos químicos tóxicos (desinfetantes e sabões);
- Presença de matéria orgânica (dejetos).



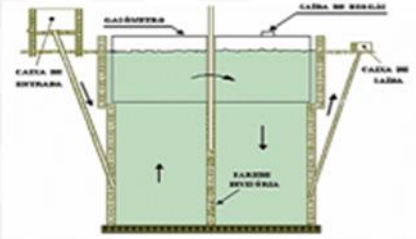
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

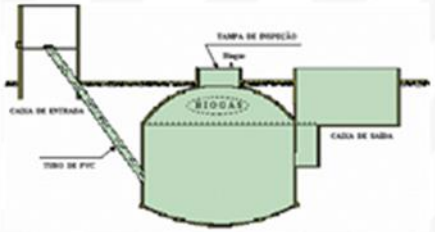
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

Biodigestor

- Modelo indiano



- Modelo chinês

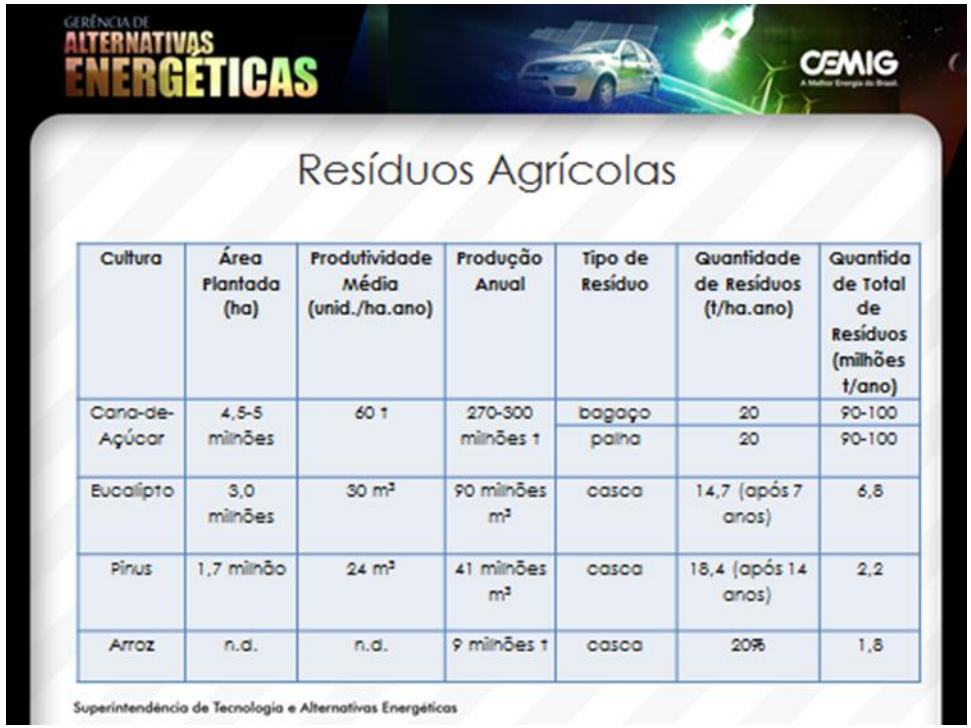


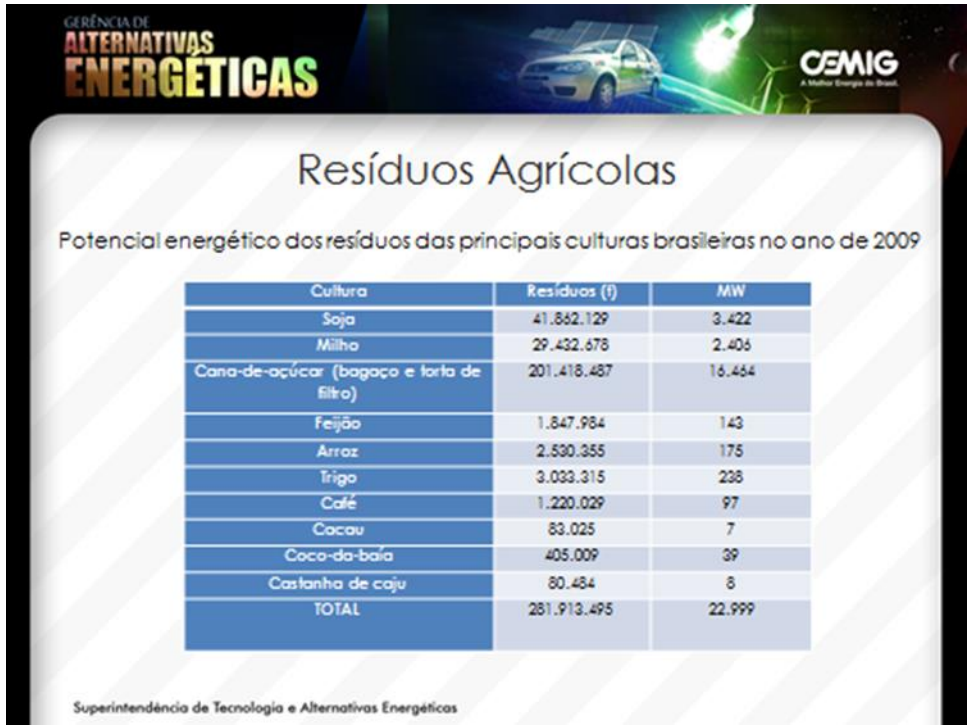
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

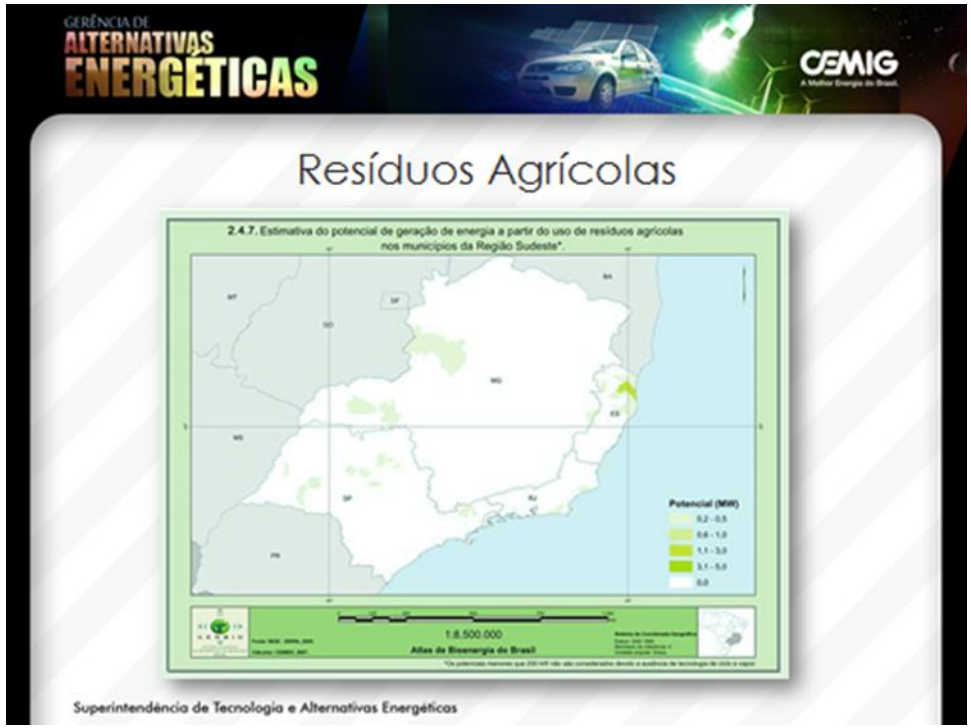
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
RESÍDUOS AGRÍCOLAS
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

1979

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Resíduos Agrícolas
A produção de resíduos agrícolas é variável e depende de muitos fatores, tais como:
A espécie cultivada;
O destino da mesma;
As condições climáticas;
A fertilidade do solo, etc.
A produção de resíduos tem caráter sazonal.
A manutenção dos restos das culturas nos locais de cultivo causa benefícios ao solo.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
Resíduos Agrícolas
Cultura | Área Plantada (ha) | Produtividade Média (unid./ha.ano) | Produção Anual | Tipo de Resíduo | Quantidade de Resíduos (t/ha.ano) | Quantida de Total de Resíduos (milhões t/ano)
Cana-de-Açúcar | 4,5-5 milhões | 60 t | 270-300 milhões t | bagaço | 20 | 90-100
palha | 20 | 90-100
Eucalipto | 3,0 milhões | 30 m³ | 90 milhões m³ | casca | 14,7 (após 7 anos) | 6,6
Pinus | 1,7 milhão | 24 m³ | 41 milhões m³ | casca | 18,4 (após 14 anos) | 2,2
Arroz | n.d. | n.d. | 9 milhões t | casca | 20% | 1,8
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Resíduos Agrícolas
Potencial energético dos resíduos das principais culturas brasileiras no ano de 2009
Cultura | Resíduos (t) | MW
Soja | 41.862.129 | 3.422
Milho | 29.432.678 | 2.406
Cana-de-açúcar (bagaço e torta de filtro) | 201.418.487 | 16.464
Feijão | 1.847.984 | 143
Arroz | 2.530.355 | 175
Trigo | 3.033.315 | 238
Café | 1.220.029 | 97
Cacau | 83.025 | 7
Coco-da-baía | 405.009 | 39
Castanha de caju | 80.484 | 8
TOTAL | 281.913.495 | 22.999
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
Resíduos Agrícolas
2.4.7. Estimativa do potencial de geração de energia a partir do uso de resíduos agrícolas nos municípios da Região Sudeste*.
Potencial (MW)
0,2 - 0,5
0,6 - 1,0
1,1 - 3,0
3,1 - 5,0
0,0
1:8.500.000
Atlas de Bioenergia do Brasil
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Produção de energia
Resíduos agrícolas
Fermentação
Etanol
Esterificação
Biodiesel
Digestão
Separação do gás
Bio Metano
Gaseificação
Processo Fischer Tropsch
Gasolina, Diesel
Síntese Metanol
Gasolina Celular
Metanol
Metanação
Substituto do gás natural
Extração
Pirólise
Liquefação hidrotermal
Bio-óleo
Gasolina, Diesel
Despolimerização Catalítica
H
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

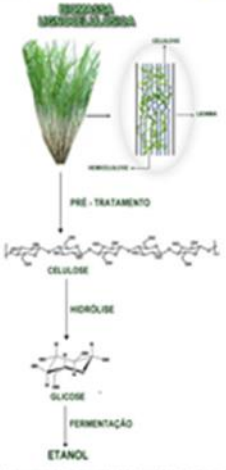
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Produção de energia
Processo de conversão
Produto intermediário
Máquina motriz
Energia elétrica
Resíduos agrícolas
Combustão direta
Vapor
Turbina a vapor
Motores Alternativos de Combustão Interna
Gaseificação
Gás
Turbina a gás
Motor Stirling
Célula combustível
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

1985

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

Biocombustíveis de segunda geração

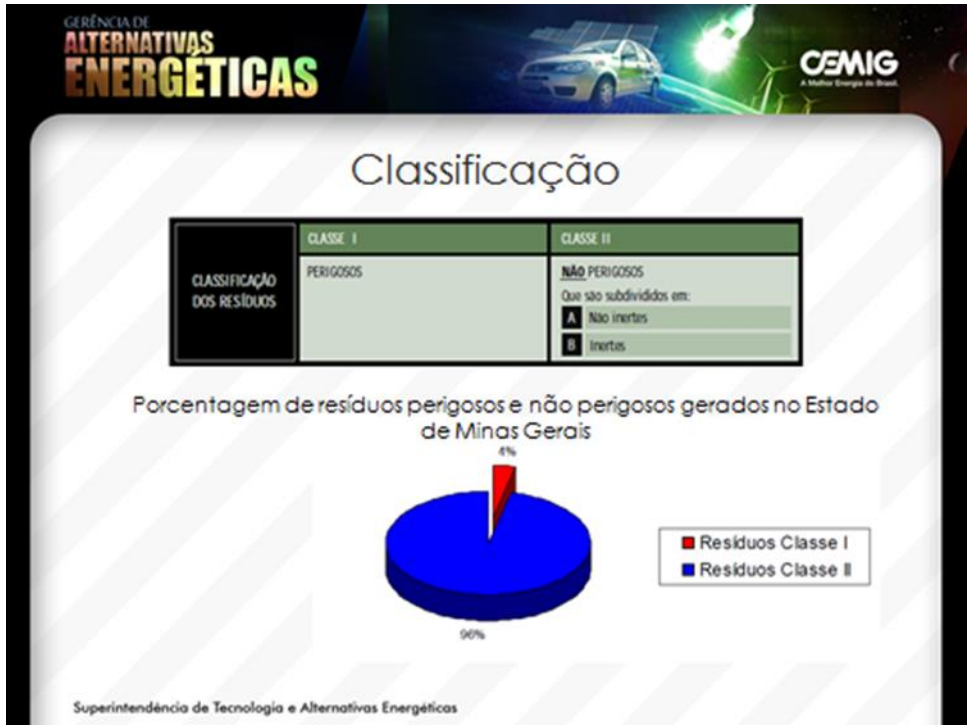


Esquema 1. Representação esquemática da produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósica

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
RESÍDUOS INDUSTRIAIS
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

1987


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Classificação
CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS
CLASSE I
PERIGOSOS
CLASSE II
NÃO PERIGOSOS
Que são subdivididos em:
A Não inertes
B Inertes
Porcentagem de resíduos perigosos e não perigosos gerados no Estado de Minas Gerais
4%
96%
Resíduos Classe I
Resíduos Classe II
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

1988

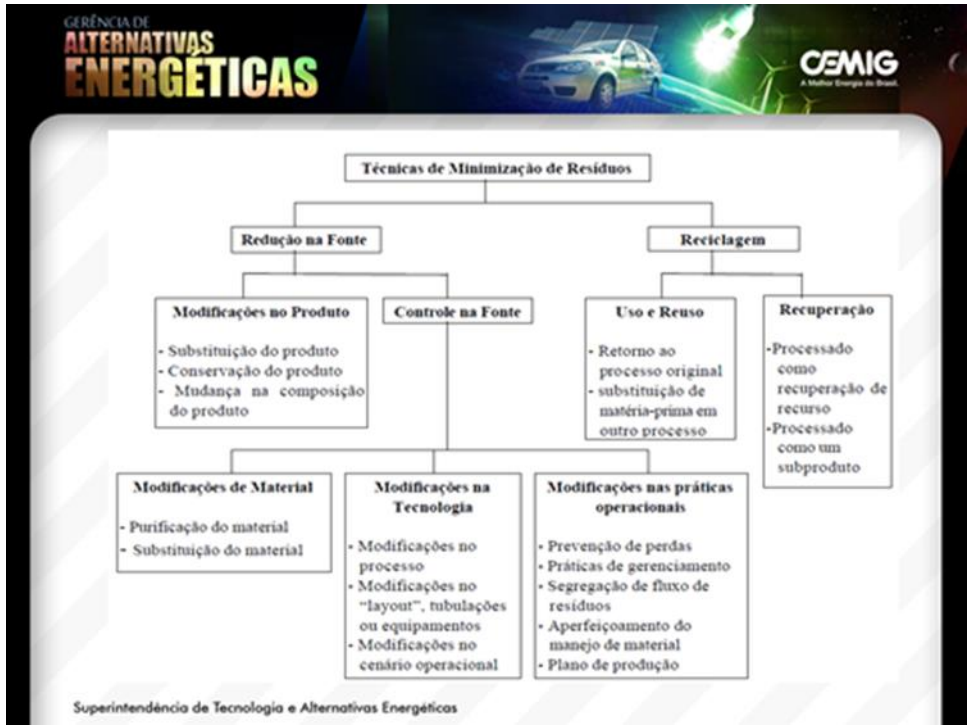
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Destinação do resíduo
Formas de destinação - Destinação Externa (DE)
%
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
30,4
26,1
13,6
5,4
4,6
4,4
4,0
3,1
3,1
2,6
1,5
1,2
Reciclagem
Incorporação em solo agrícola
Reutilização
Aterro Industrial de terceiros
Co-processamento
Pavimentação de vias
Outros
Re-refino de óleo
Utilização em fornos industriais
Pilha de estéril
Aterro sanitário
Sucateiros intermediários
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

1989

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Aterro industrial
Queimador
Exaustor de Gases
Cobertura Superficial
Deposição
de Resíduos
Manta Pead
2º Camada
de Argila
Percolado
Saída para
Tratamento
1º Camada de Argila
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

1990

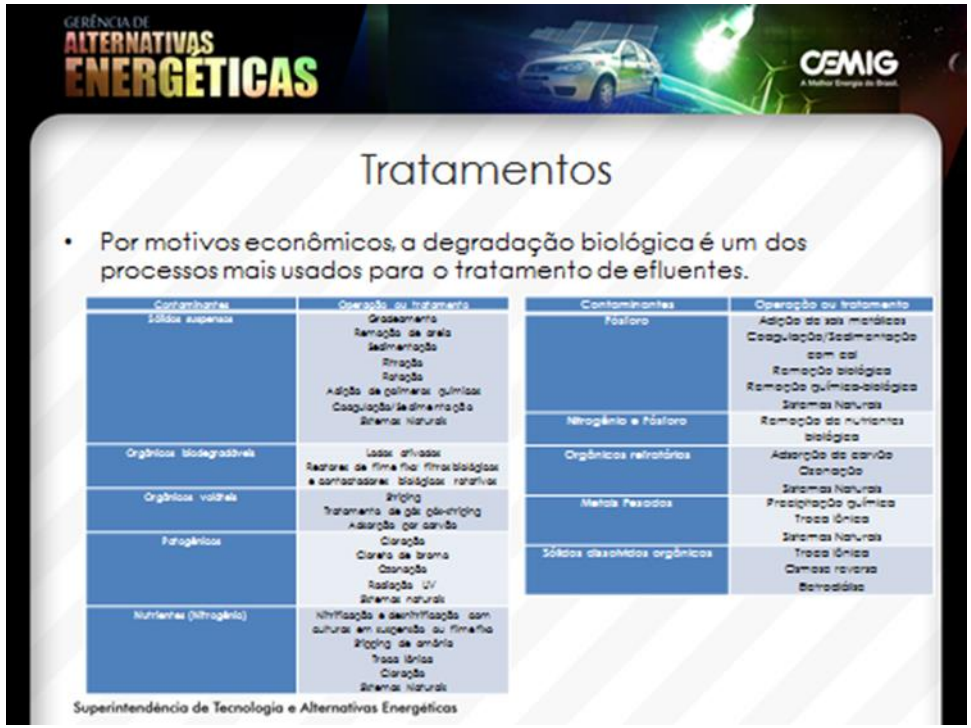
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
Coprocessamento
Substituição de matéria prima
Substituição de combustível
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

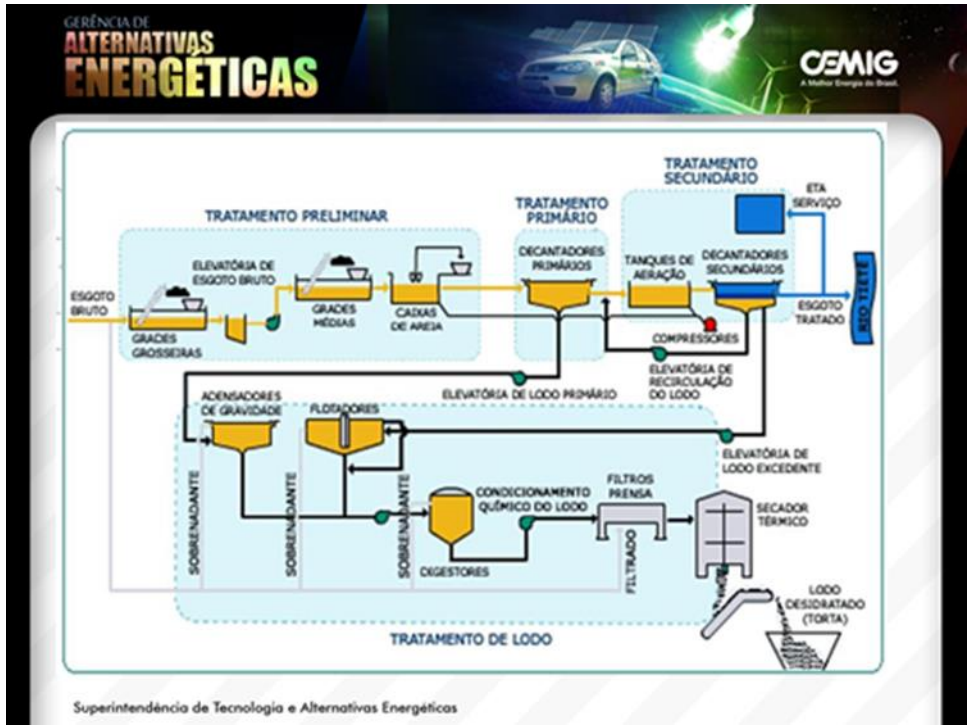

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Técnicas de Minimização de Resíduos
Redução na Fonte
Reciclagem
Modificações no Produto
- Substituição do produto
- Conservação do produto
- Mudança na composição do produto
Controle na Fonte
Uso e Reuso
- Retorno ao processo original
- substituição de matéria-prima em outro processo
Recuperação
-Processado como recuperação de recurso
-Processado como um subproduto
Modificações de Material
- Purificação do material
- Substituição do material
Modificações na Tecnologia
- Modificações no processo
- Modificações no "layout", tubulações ou equipamentos
- Modificações no cenário operacional
Modificações nas práticas operacionais
- Prevenção de perdas
- Práticas de gerenciamento
- Segregação de fluxo de resíduos
- Aperfeiçoamento do manejo de material
- Plano de produção
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Custos
Resíduos Classe I :
de R$ 500,00 a 3.000,00 por tonelada.
Resíduos Classe I e Classe IIA:
de R$ 150,00 a 800,00 por tonelada.
Resíduos Classe IIA e IIB:
de R$ 60,00 a 130,00 por tonelada.
Incineradores
Coprocessamento
Aterro industrial
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

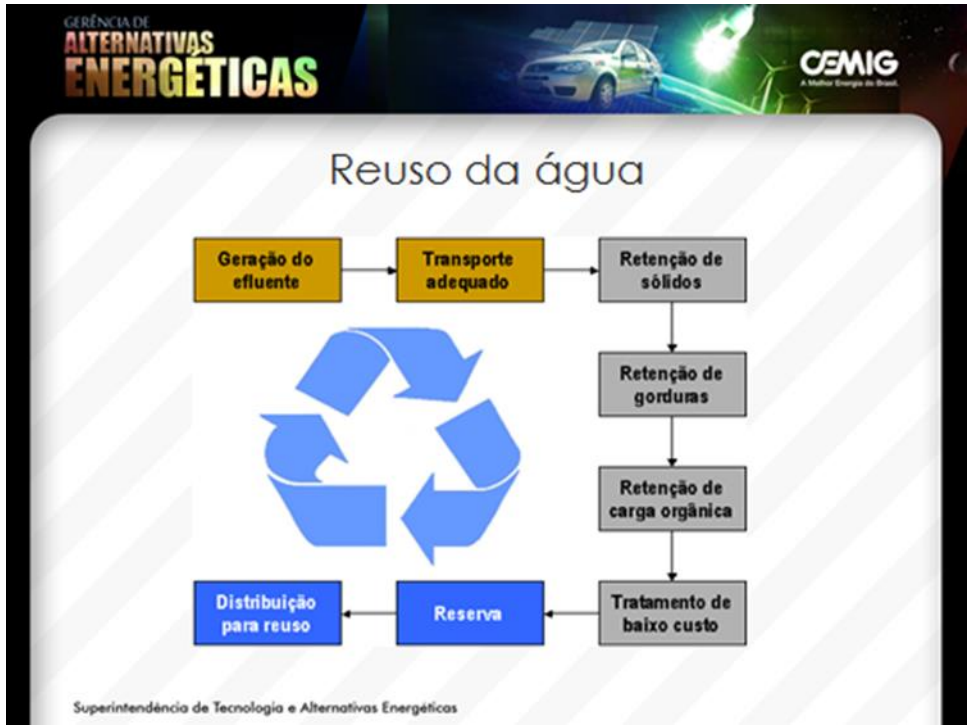
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
EFLUENTES LÍQUIDOS
efluentes líquidos
(industriais e domésticos)
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

1994


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
Tratamentos
• Por motivos econômicos, a degradação biológica é um dos processos mais usados para o tratamento de efluentes.
Contaminantes
Operação ou tratamento
Sólidos suspensos
Gradeamento
Remoção de areia
Sedimentação
Filtração
Flotação
Adição de polímeros químicos
Coagulação/sedimentação
Sistemas Naturais
Orgânicos biodegradáveis
Lodos ativados
Reatores de filme fixo: filtros biológicos e contactadores biológicos rotativos
Orgânicos voláteis
Stripping
Tratamento de gás: gás-stripping
Adsorção por carvão
Patogênicos
Cloração
Cloreto de bromo
Ozonização
Radiação UV
Sistemas naturais
Nutrientes (Nitrogênio)
Nitrificação e desnitrificação com culturas em suspensão ou filme fixo
Stripping de amônia
Troca iônica
Cloração
Sistemas Naturais
Contaminantes
Operação ou tratamento
Fósforo
Adição de sais metálicos
Coagulação/sedimentação com cal
Remoção biológica
Remoção química-biológica
Sistemas Naturais
Nitrogênio e Fósforo
Remoção de nutrientes biológica
Orgânicos refratários
Adsorção do carvão
Ozonação
Sistemas Naturais
Metais Pesados
Precipitação química
Troca iônica
Sistemas Naturais
Sólidos dissolvidos orgânicos
Troca iônica
Osmose reversa
Eletrodiálise
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
TRATAMENTO PRELIMINAR
TRATAMENTO PRIMÁRIO
TRATAMENTO SECUNDÁRIO
ESGOTO BRUTO
ELEVATÓRIA DE ESGOTO BRUTO
GRADES GROSSEIRAS
GRADES MÉDIAS
CAIXAS DE AREIA
DECANTADORES PRIMÁRIOS
TANQUES DE AERAÇÃO
DECANTADORES SECUNDÁRIOS
ETA SERVIÇO
ESGOTO TRATADO
RIO DAS VELHAS
COMPRESSORES
ELEVATÓRIA DE RECIRCULAÇÃO DO LODO
ELEVATÓRIA DE LODO PRIMÁRIO
ADENSADORES DE GRAVIDADE
FLOTADORES
ELEVATÓRIA DE LODO EXCEDENTE
SOBRENADANTE
SOBRENADANTE
SOBRENADANTE
CONDICIONAMENTO QUÍMICO DO LODO
FILTROS PRENSA
SECADOR TÉRMICO
DIGESTORES
FILTRADO
LODO DESIDRATADO (TORTA)
TRATAMENTO DE LODO
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

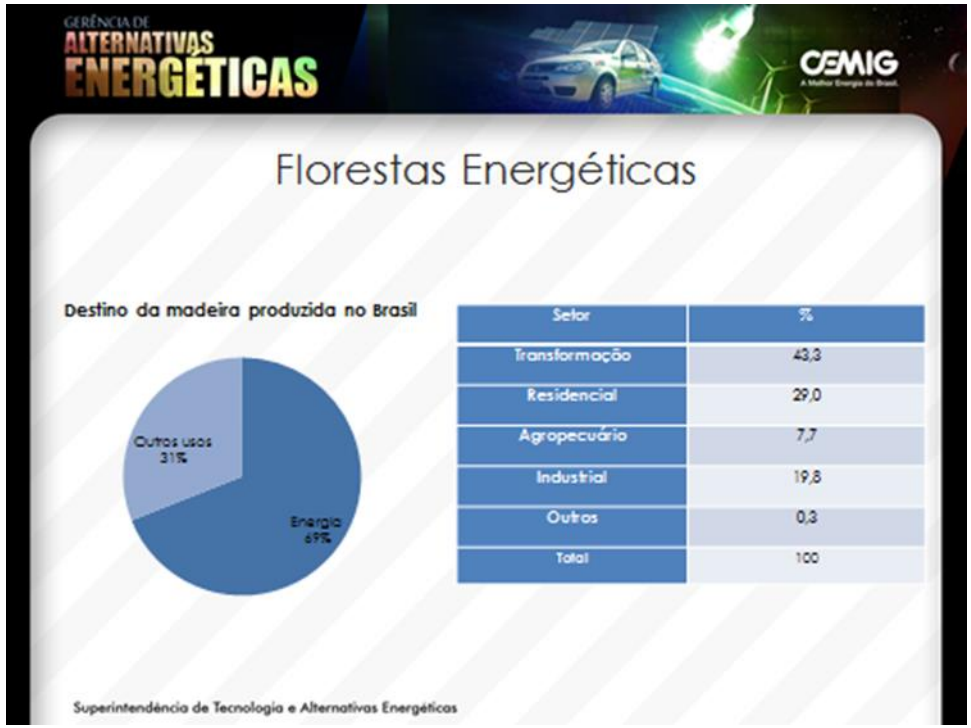
1996


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Reuso da água
Geração do efluente
Transporte adequado
Retenção de sólidos
Retenção de gorduras
Retenção de carga orgânica
Tratamento de baixo custo
Reserva
Distribuição para reuso
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

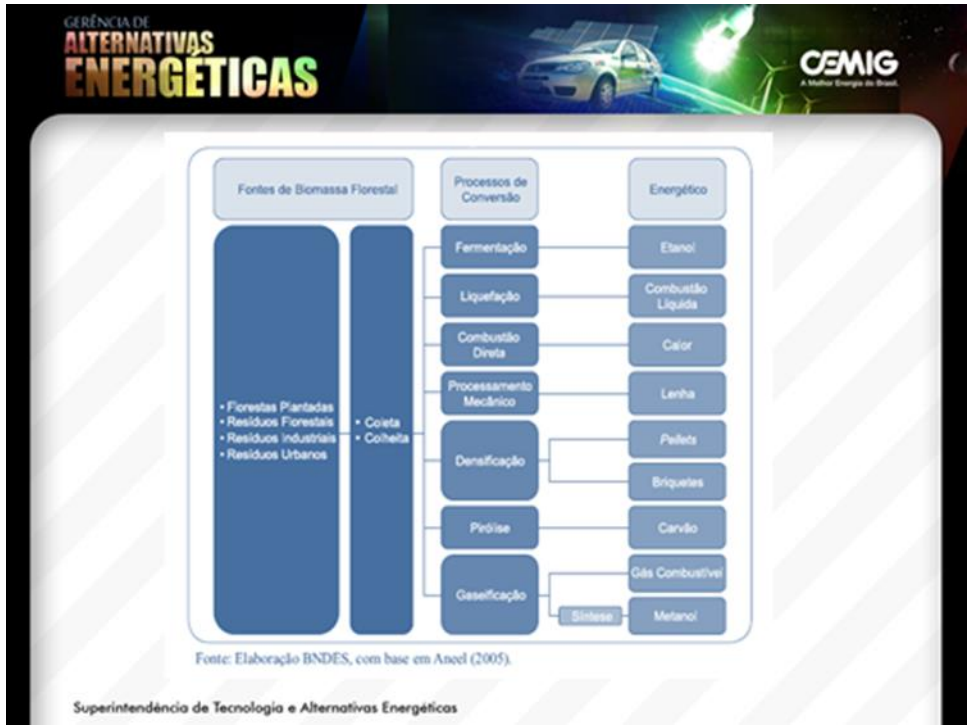
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Produção de energia
Os efluentes líquidos que tem alto teor de matéria orgânica em sua composição apresentam um alto potencial para a produção de metano.
Pode-se citar como exemplo principalmente os efluentes do esgoto doméstico e de indústrias como a alimentícia, de bebidas, de papel e celulose.
O metano é um subproduto do tratamento desses resíduos pelo processo anaeróbico.
As empresam que usam o biogás advindo de esgoto sanitário podem adotar o sistema de cogeração de energia.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

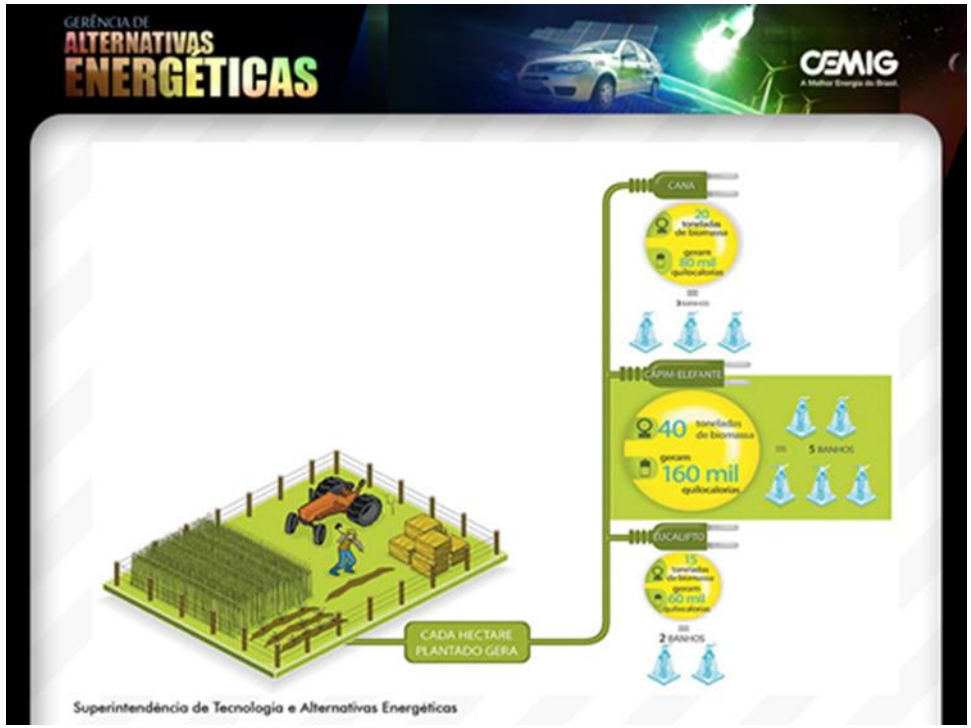
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
FLORESTAS ENERGÉTICAS
FLORESTAS ENERGÉTICAS
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

1999


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Florestas Energéticas
Destino da madeira produzida no Brasil
Outros usos
31%
Energia
69%
Setor
%
Transformação
43,3
Residencial
29,0
Agropecuário
7,7
Industrial
19,8
Outros
0,3
Total
100
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

2000


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Fontes de Biomassa Florestal
Processos de Conversão
Energético
• Florestas Plantadas
• Resíduos Florestais
• Resíduos Industriais
• Resíduos Urbanos
• Coleta
• Colheita
Fermentação
Liquefação
Combustão Direta
Processamento Mecânico
Densificação
Pirólise
Gaseificação
Síntese
Etanol
Combustão Líquida
Calor
Lenha
Pellets
Briquetes
Carvão
Gás Combustível
Metanol
Fonte: Elaboração BNDES, com base em Aneel (2005).
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

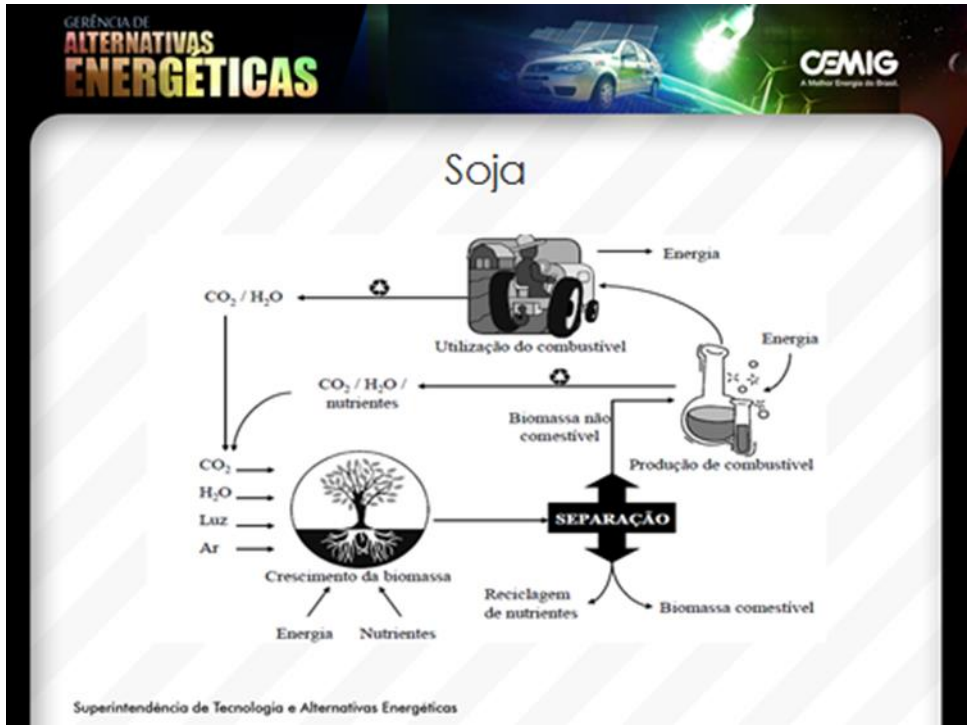

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
CANA
20 toneladas de biomassa
geram 80 mil quilocalorias
3 banhos
CAPIM-ELEFANTE
40 toneladas de biomassa
geram 160 mil quilocalorias
5 BANHOS
EUCALIPTO
15 toneladas de biomassa
geram 60 mil quilocalorias
2 BANHOS
CADA HECTARE PLANTADO GERA
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

2002

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Cana de açúcar
Atualmente, 80% da bioeletricidade produzida no país vêm deste produto.
O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo.
Em 2011 a área plantada de cana no Brasil foi de 9.628.658 de hectares.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

2003

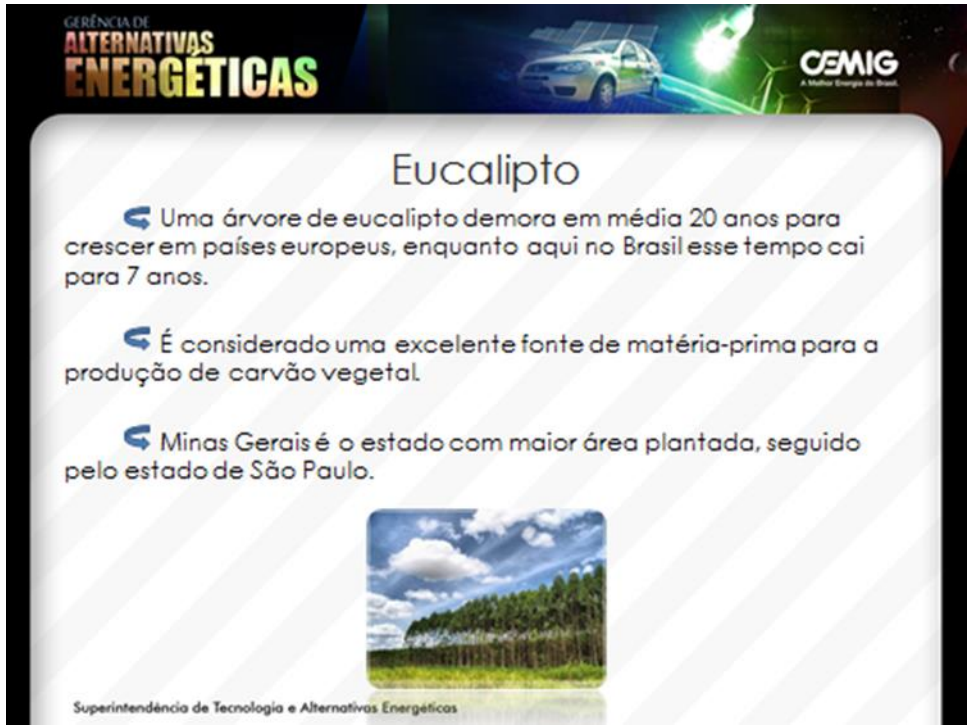
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Capim elefante
O capim elefante pode ser usado para geração de energia das seguintes formas:
• Combustão direta;
• Gaseificação;
• Carvoejamento;
• Hidrólise do bagaço para obtenção de álcool.
Ele apresenta alto potencial para uso como alternativa energética, dado a sua alta produtividade (cerca de 40 toneladas de massa seca, por hectare por ano) e ao seu rápido ciclo produtivo (colheita seis meses após o plantio).
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Soja
Energia
CO_2 / H_2O
Utilização do combustível
Energia
CO_2 / H_2O / nutrientes
Biomassa não comestível
Produção de combustível
CO_2
H_2O
Luz
Ar
SEPARAÇÃO
Crescimento da biomassa
Reciclagem de nutrientes
Biomassa comestível
Energia
Nutrientes
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

2005

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Soja
A produção brasileira atual é de cerca de 75 milhões de toneladas por hectare.
Da produção nacional de biodiesel, 82% provêm do óleo de soja.
A soja ocupa 23,6 milhões de hectares no Brasil.
Legenda
Capitais Estaduais
Limites Estaduais
Produção (toneladas/município)
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

2006


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Eucalipto
Uma árvore de eucalipto demora em média 20 anos para crescer em países europeus, enquanto aqui no Brasil esse tempo cai para 7 anos.
É considerado uma excelente fonte de matéria-prima para a produção de carvão vegetal.
Minas Gerais é o estado com maior área plantada, seguido pelo estado de São Paulo.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

2007

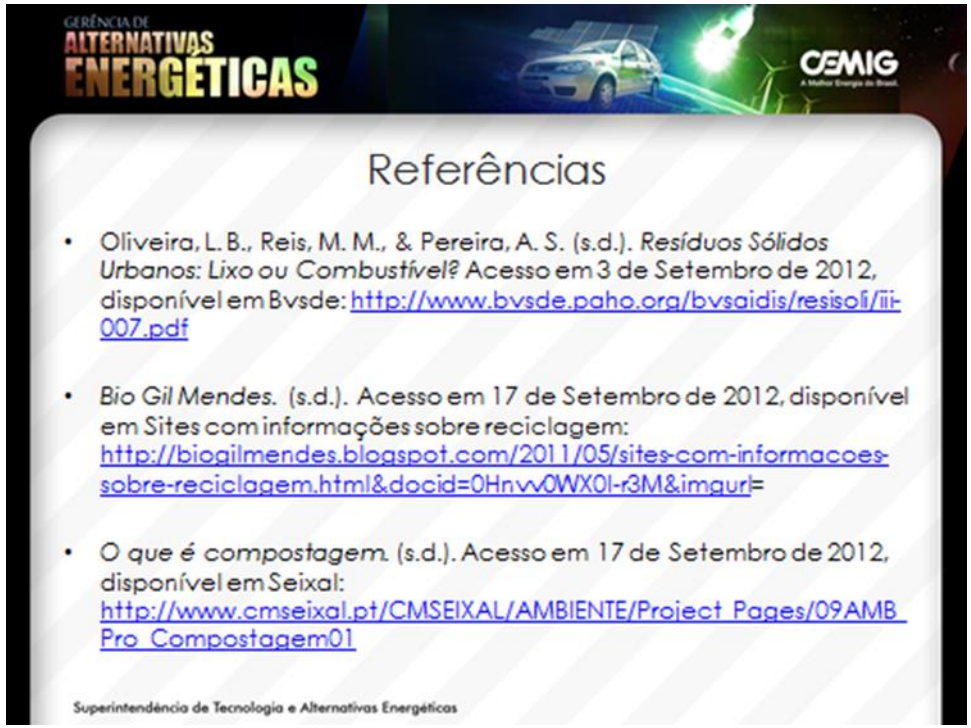
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Área Plantada de Eucalipto
TOTAL: 4.754.334 ha
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

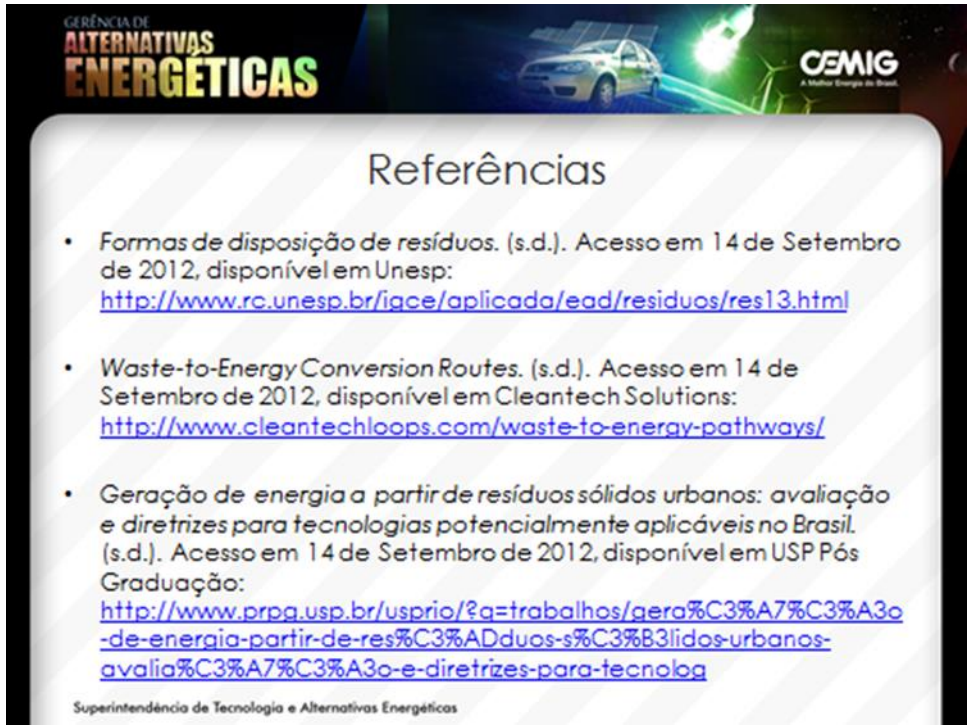
2008

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Florestas Energéticas
Para fins energéticos, em Minas Gerais, por ano:
São necessários:
150 mil hectares.
São plantados:
30 mil hectares.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

2009

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Referências
• Morais, E. (s.d.). O Lixo de Rio Maria e as Consequências na Saúde Pública. Acesso em 11 de Setembro de 2012, disponível em Faculdades Integradas de Jacarepagua: http://siqplanet.sytes.net/nova_plataforma/monografias../2383.pdf
• SEBRAE. (junho de 2006). Manual de Gerenciamento de Resíduos. Acesso em 13 de Setembro de 2012, disponível em http://201.2.114.147/bds/bds.nsf/DCD795F87D589C3D832573D3004DF067/$File/NT0003744E.pdf
• O Lixo e o Meio Ambiente - Panorama Internacional. (s.d.). Acesso em 10 de Setembro de 2012, disponível em UsinaVerde: http://www.usinaverde.com.br/lixoemeioambiente.php?cod=2152313A-ACA1-D5D1-D9CF-D81528495D55
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Referências
• Oliveira, L. B., Reis, M. M., & Pereira, A. S. (s.d.). Resíduos Sólidos Urbanos: Lixo ou Combustível? Acesso em 3 de Setembro de 2012, disponível em Bvsde: http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-007.pdf
• Bio Gil Mendes. (s.d.). Acesso em 17 de Setembro de 2012, disponível em Sites com informações sobre reciclagem: http://biogilmendes.blogspot.com/2011/05/sites-com-informacoes-sobre-reciclagem.html&docid=0Hnvv0WX0I-r3M&imgurl=
• O que é compostagem. (s.d.). Acesso em 17 de Setembro de 2012, disponível em Seixal: http://www.cmseixal.pt/CMSEIXAL/AMBIENTE/Project_Pages/09AMB_Pro_Compostagem01
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
Referências
• Formas de disposição de resíduos. (s.d.). Acesso em 14 de Setembro de 2012, disponível em Unesp: http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res13.html
• Waste-to-Energy Conversion Routes. (s.d.). Acesso em 14 de Setembro de 2012, disponível em Cleantech Solutions: http://www.cleantechloops.com/waste-to-energy-pathways/
• Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil. (s.d.). Acesso em 14 de Setembro de 2012, disponível em USP Pós Graduação: http://www.prpg.usp.br/usprio/?q=trabalhos/gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-partir-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-urbanos-avalia%C3%A7%C3%A3o-e-diretrizes-para-tecnolog
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
OBRIGADA!
Nome: Júnia Roberta de Souza Pereira
Setor: TE/AE
E-mail:
junia.pereira@cemig.com.br
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

2014

2011

2015

2016

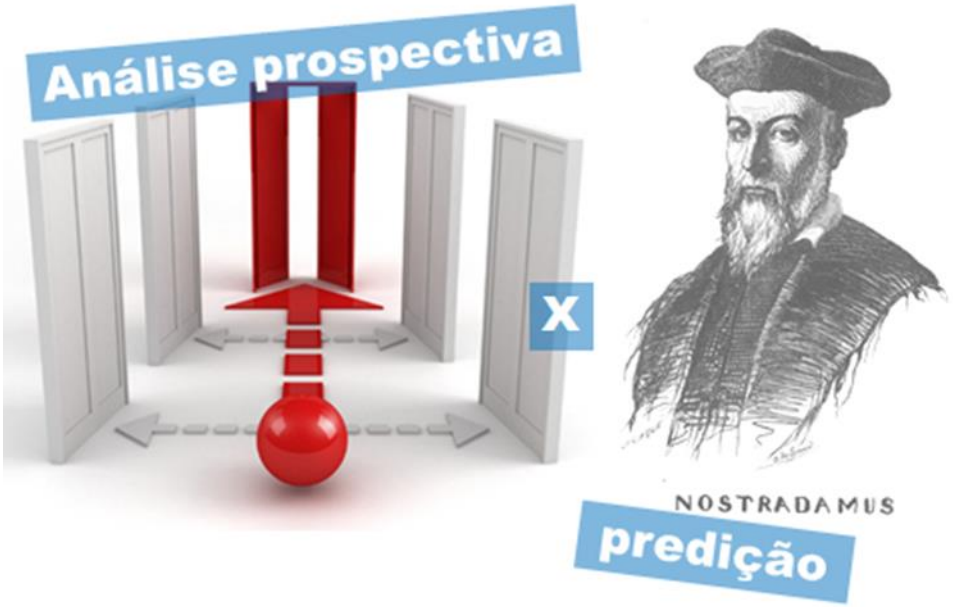
O que vem pela frente...
Análise prospectiva
Elaboração de cenários
Cenários em Energia
Elaboradores
Caso CGEE
Cenários no nosso trabalho

2017

Leonardo Fernandes
Estudante Engenharia Química
UFMG
Estagiário TE/AE
REGISTERED IDENTITY

2018

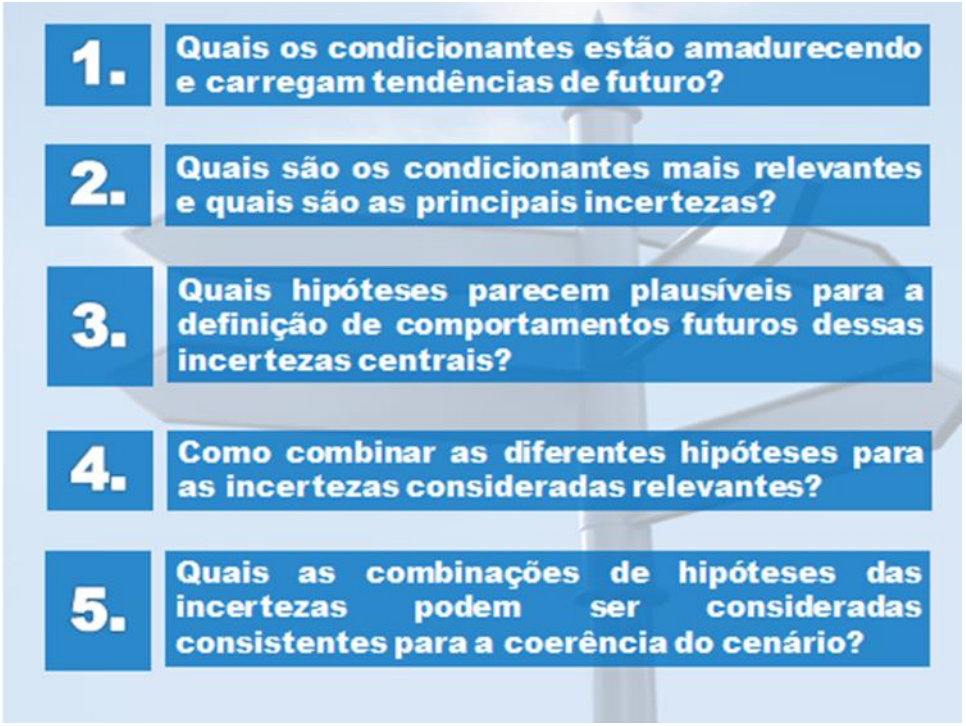
2019



2020

Cenários
1.
Identificação de incertezas
2.
Definição e combinação de hipóteses

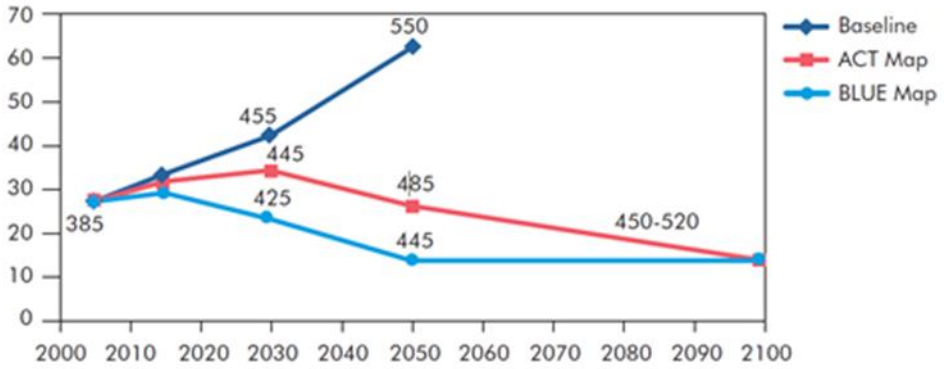
2021


1.
Quais os condicionantes estão amadurecendo e carregam tendências de futuro?
2.
Quais são os condicionantes mais relevantes e quais são as principais incertezas?
3.
Quais hipóteses parecem plausíveis para a definição de comportamentos futuros dessas incertezas centrais?
4.
Como combinar as diferentes hipóteses para as incertezas consideradas relevantes?
5.
Quais as combinações de hipóteses das incertezas podem ser consideradas consistentes para a coerência do cenário?

2023

Cenários Mundiais

Energy-related CO_2 emission and CO_2 concentration profiles for the Baseline, ACT Map and BLUE Map scenarios



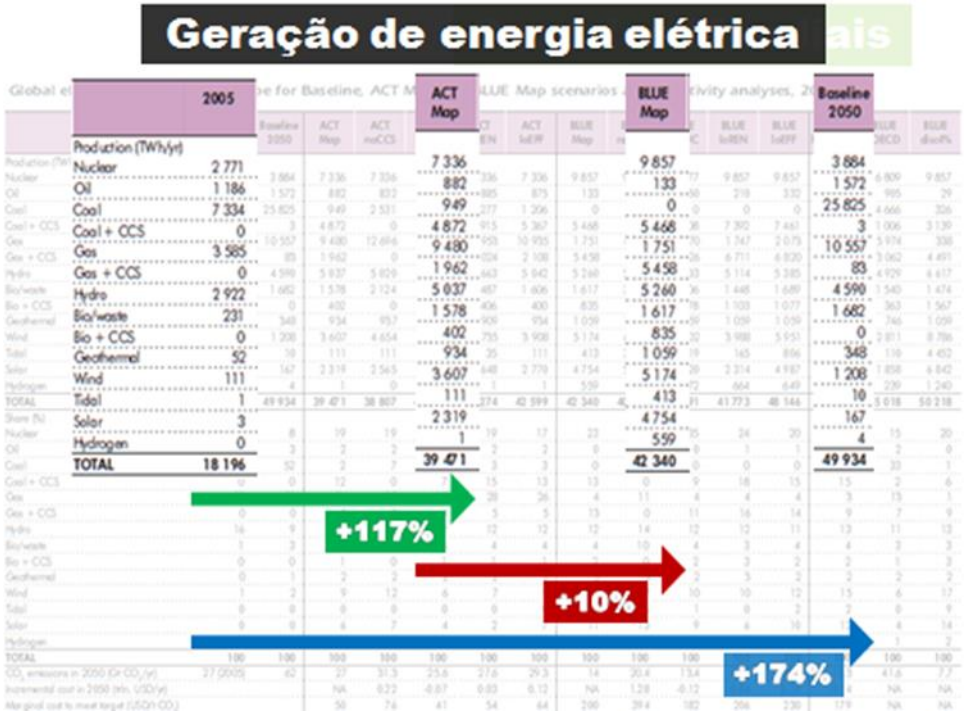
Cenários Mundiais

Global electricity production by type for Baseline, ACT Map and BLUE Map scenarios and sensitivity analyses, 2050

	2005	Baseline 2050	ACT Map	ACT noCCS	ACT hiNUC	ACT loREN	ACT loEFF	BLUE Map	BLUE noCCS	BLUE hiNUC	BLUE loREN	BLUE loEFF	BLUE hiCHill-Gas	BLUE OECD	BLUE disc4%
Production (TWh/yr)															
Nuclear	2 771	3 884	7 336	7 336	15 865	7 336	7 336	9 857	9 857	15 877	9 857	9 857	9 857	6 809	9 857
Oil	1 186	1 572	882	832	864	885	875	133	123	150	218	332	113	905	29
Coal	7 334	25 825	949	2 531	566	1 277	1 206	0	353	0	0	0	0	14 666	326
Coal + CCS	0	3	4 872	0	2 732	5 915	5 367	5 468	0	4 208	7 392	7 461	6 509	1 006	3 139
Gas	3 585	10 557	9 480	12 696	7 619	10 953	10 935	1 751	4 260	1 570	1 747	2 073	1 358	5 974	338
Gas + CCS	0	85	1 962	0	1 850	2 024	2 108	5 458	0	4 926	6 711	6 820	3 765	3 062	4 491
Hydro	2 922	4 599	5 037	5 020	4 985	4 663	5 042	5 260	5 504	5 203	5 114	5 385	5 505	4 929	6 617
Bio/waste	231	1 682	1 578	2 124	1 609	1 487	1 606	1 617	3 918	1 606	1 448	1 689	1 842	1 540	1 474
Bio + CCS	0	0	402	0	401	406	400	835	0	678	1 103	1 077	864	363	1 567
Geothermal	52	348	934	937	731	909	934	1 059	1 059	1 059	1 059	1 059	1 059	746	1 059
Wind	111	1 208	3 607	4 654	2 680	2 735	3 908	5 174	6 743	4 402	3 988	5 951	6 395	2 811	8 786
Tidal	1	10	111	111	111	35	111	413	2 389	419	165	896	755	110	4 452
Solar	3	167	2 319	2 565	1 487	648	2 770	4 754	5 297	4 220	2 314	4 987	5 278	1 858	6 842
Hydrogen	0	4	1	0	0	1	1	559	517	472	664	649	720	239	1 240
TOTAL	**18 196**	**49 934**	**39 471**	**38 807**	**41 501**	**39 274**	**42 599**	**42 340**	**40 021**	**44 791**	**41 773**	**48 146**	**44 021**	**45 018**	**50 218**
Share (%)															
Nuclear	15	8	19	19	38	19	17	23	25	35	24	20	22	15	20
Oil	7	3	2	2	2	2	2	0	0	0	1	1	0	2	0
Coal	40	52	2	7	1	3	3	0	1	0	0	0	0	33	1
Coal + CCS	0	0	12	0	7	15	13	13	0	9	18	15	15	2	6
Gas	20	21	24	33	18	28	26	4	11	4	4	4	3	13	1
Gas + CCS	0	0	5	0	4	5	5	13	0	11	16	14	9	7	9
Hydro	16	9	13	13	12	12	12	12	14	12	12	11	13	11	13
Bio/waste	1	3	4	5	4	4	4	4	10	4	3	4	4	3	3
Bio + CCS	0	0	1	0	1	1	1	2	0	2	3	2	2	1	3
Geothermal	0	1	2	2	2	2	2	3	3	2	3	2	2	2	2
Wind	1	2	9	12	6	7	9	12	17	10	10	12	15	6	17
Tidal	0	0	0	0	0	0	0	1	6	1	0	2	2	0	9
Solar	0	0	6	7	4	2	7	11	13	9	6	10	12	4	14
Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	2	1	2
TOTAL	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
CO_2 emissions in 2050 (Gt CO_2/yr)	27 (2005)	62	27	31.3	25.6	27.6	29.3	14	20.4	13.4	14.2	15.0	13.3	41.6	7.7
Incremental cost in 2050 (tln. USD/yr)			NA	0.22	-0.07	0.03	0.12	NA	1.28	-0.12	0.04	0.29	-0.14	NA	NA
Marginal cost to meet target (USD/t CO_2)			50	76	41	54	64	200	394	182	266	230	179	NA	NA

2025

Geração de energia elétrica



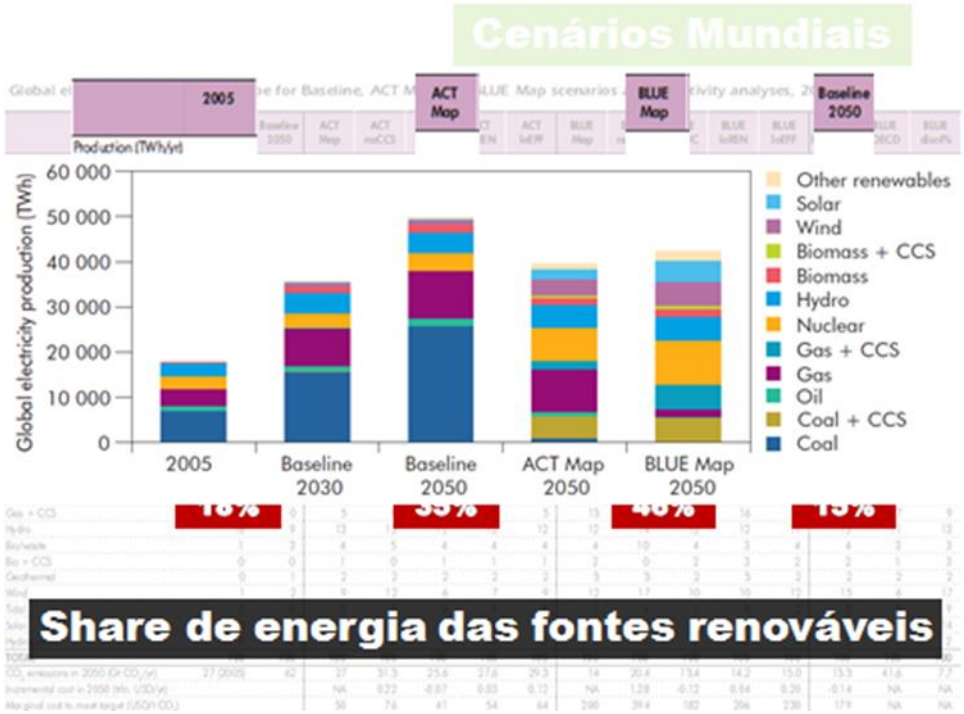
	2005	ACT Map	BLUE Map	Baseline 2050
Production (TWh/yr)				
Nuclear	2 771	7 336	9 857	3 884
Oil	1 186	882	133	1 572
Coal	7 334	949	0	25 825
Coal + CCS	0	4 872	5 468	3
Gas	3 585	9 480	1 751	10 557
Gas + CCS	0	1 962	5 458	83
Hydro	2 922	5 037	5 260	4 590
Bio'waste	231	1 578	1 617	1 682
Bio + CCS	0	402	835	0
Geothermal	52	934	1 059	348
Wind	111	3 607	5 174	1 208
Tidal	1	111	413	10
Solar	3	2 319	4 754	167
Hydrogen	0	1	559	4
TOTAL	18 196	39 471	42 340	49 934

+117%

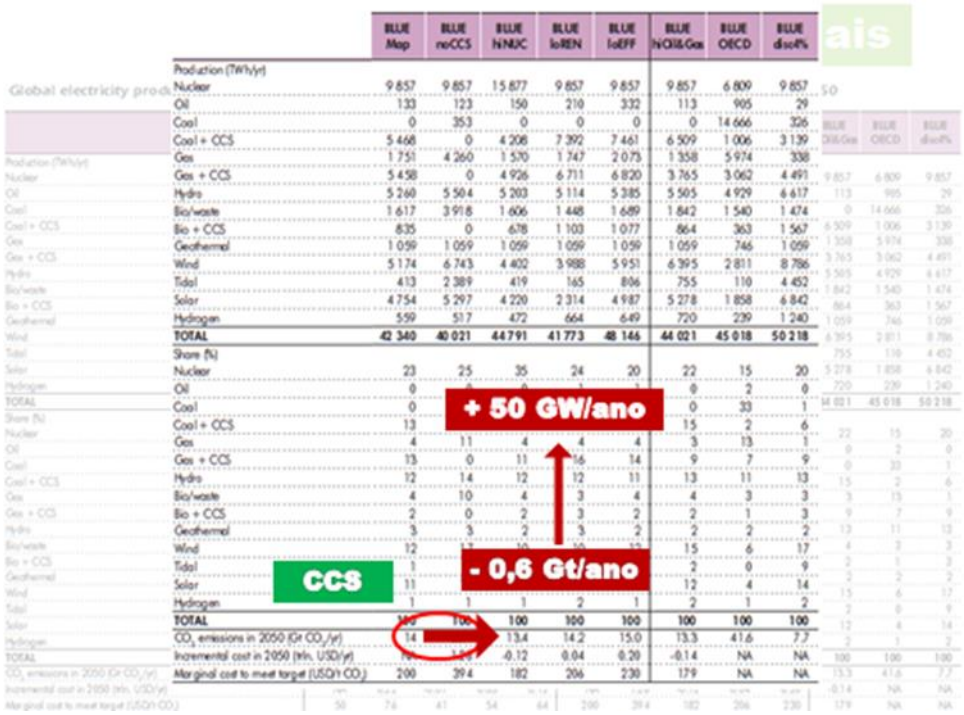
+10%

+174%

2026


Cenários Mundiais
2005
ACT Map
BLUE Map
Baseline 2050
Production (TWh/yr)
Global electricity production (TWh)
60 000
50 000
40 000
30 000
20 000
10 000
0
2005
Baseline 2030
Baseline 2050
ACT Map 2050
BLUE Map 2050
Other renewables
Solar
Wind
Biomass + CCS
Biomass
Hydro
Nuclear
Gas + CCS
Gas
Oil
Coal + CCS
Coal
18%
35%
48%
15%
Share de energia das fontes renováveis

2027



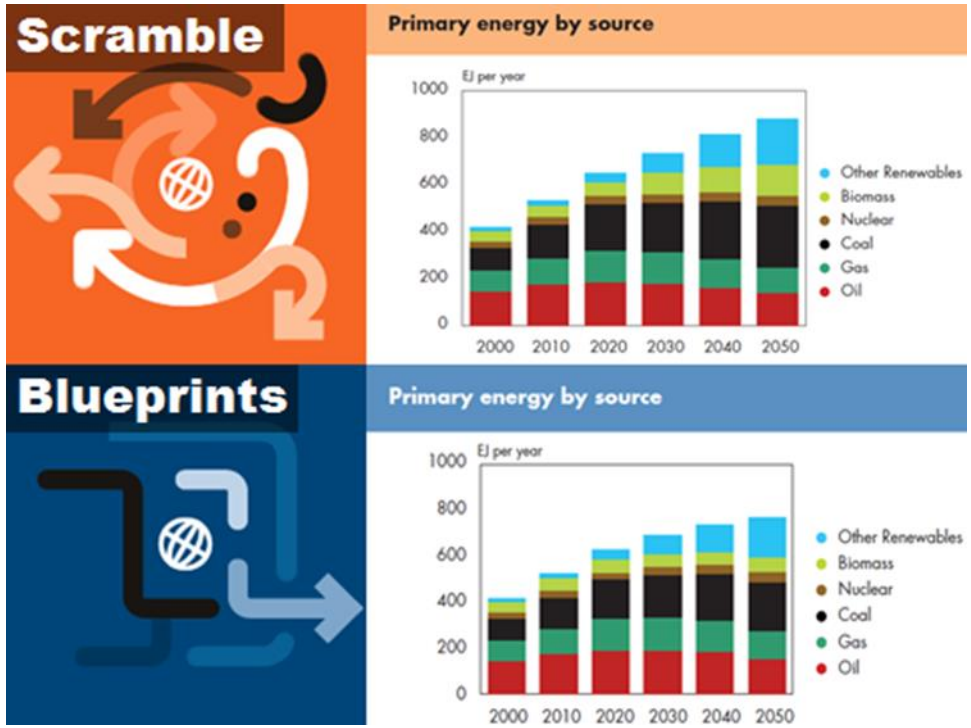
	BLUE Map	BLUE noCCS	BLUE hiNUC	BLUE loREN	BLUE loEFF	BLUE hiOil&Gas	BLUE OECD	BLUE dist4%
Production (TWh/yr)								
Nuclear	9 857	9 857	15 877	9 857	9 857	9 857	6 809	9 857
Oil	133	123	150	210	332	113	905	29
Coal	0	353	0	0	0	0	14 666	326
Coal + CCS	5 468	0	4 208	7 392	7 461	6 509	1 006	3 139
Gas	1 751	4 260	1 570	1 747	2 073	1 358	5 974	338
Gas + CCS	5 458	0	4 926	6 711	6 820	3 765	3 062	4 491
Hydro	5 260	5 504	5 203	5 114	5 385	5 505	4 929	6 617
Bio/waste	1 617	3 918	1 606	1 448	1 689	1 842	1 540	1 474
Bio + CCS	835	0	678	1 103	1 077	864	363	1 567
Geothermal	1 059	1 059	1 059	1 059	1 059	1 059	746	1 059
Wind	5 174	6 743	4 402	3 988	5 951	6 395	2 811	8 786
Tidal	413	2 389	419	165	806	755	110	4 452
Solar	4 754	5 297	4 220	2 314	4 987	5 278	1 858	6 842
Hydrogen	559	517	472	664	649	720	239	1 240
TOTAL	**42 340**	**40 021**	**44 791**	**41 773**	**48 146**	**44 021**	**45 018**	**50 218**
Share (%)								
Nuclear	23	25	35	24	20	22	15	20
Oil	0	0	0	1	1	0	2	0
Coal	0	1	0	0	0	0	33	1
Coal + CCS	13	0	9	18	15	15	2	6
Gas	4	11	4	4	4	3	13	1
Gas + CCS	13	0	11	16	14	9	7	9
Hydro	12	14	12	12	11	13	11	13
Bio/waste	4	10	4	3	4	4	3	3
Bio + CCS	2	0	2	3	2	2	1	3
Geothermal	3	3	2	3	2	2	2	2
Wind	12	17	10	10	12	15	6	17
Tidal	1	6	1	0	2	2	0	9
Solar	11	13	9	6	10	12	4	14
Hydrogen	1	1	1	2	1	2	1	2
TOTAL	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
CO_2 emissions in 2050 (Gt CO_2/yr)	14	36	13.4	14.2	15.0	13.3	41.6	7.7
Incremental cost in 2050 (tln. USD/yr)	1.0	1.14	-0.12	0.04	0.20	-0.14	NA	NA
Marginal cost to meet target (USD/t CO_2)	200	394	182	206	230	179	NA	NA

2028

P&D

Novas Tecnologias

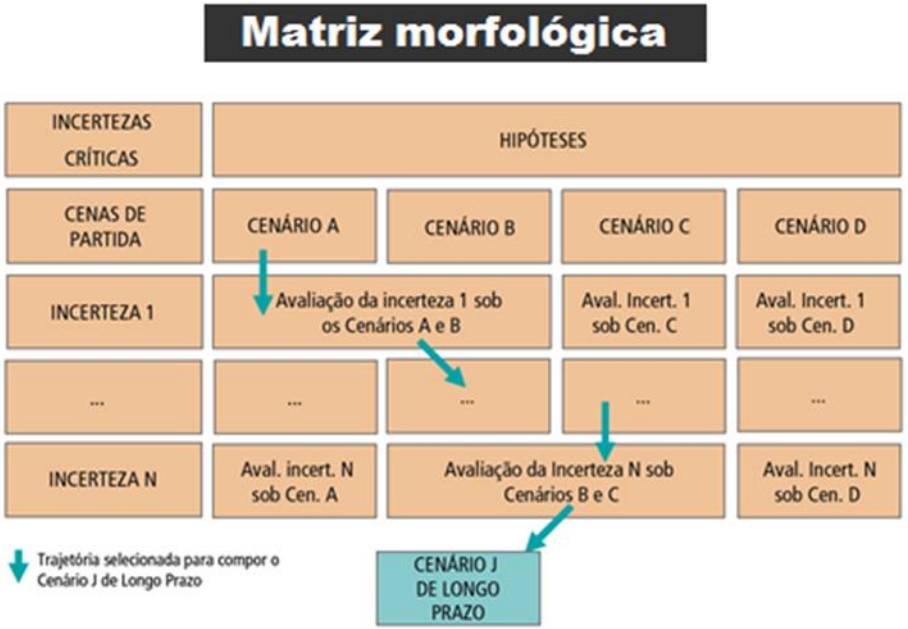
Sector	Technologies	Technical target		
		Current	ACT Map (Year)	BLUE Map (Year)
Renewable	**Geothermal**			
	Enhanced geothermal system (EGS)	A few pilot projects; problems with deep drilling cost & fracturing	Solve technical problems 50-100 GW (2050)	Solve technical problems 100-200 GW (2050)
	Solar photovoltaic			
	Thin film	6-10% efficiency	15-18% efficiency (2050)	20-25% efficiency (2030)
	3rd generation ultra high efficiency cells	N/A	Technologies understood, demonstration plants in niche market applications (2050)	Fully developed and deployed with above 40% efficiency (2025)
	3rd generation ultra low cost cells			Fully developed and deployed with 10-15% efficiencies (2025)
	Offshore wind			
	Deepwater	N/A	Demo (2010)	
	Biomass			
	Black liquor Integrated gasification combined cycle (IGCC) + CO_2 capture and storage (CCS)	Pilot plant without CCS demo 2020	30 GW by 2050 Demo 2015	50 GW by 2030


Scramble
Primary energy by source
EJ per year
1000
800
600
400
200
0
2000
2010
2020
2030
2040
2050
Other Renewables
Biomass
Nuclear
Coal
Gas
Oil
Blueprints
Primary energy by source
EJ per year
1000
800
600
400
200
0
2000
2010
2020
2030
2040
2050
Other Renewables
Biomass
Nuclear
Coal
Gas
Oil

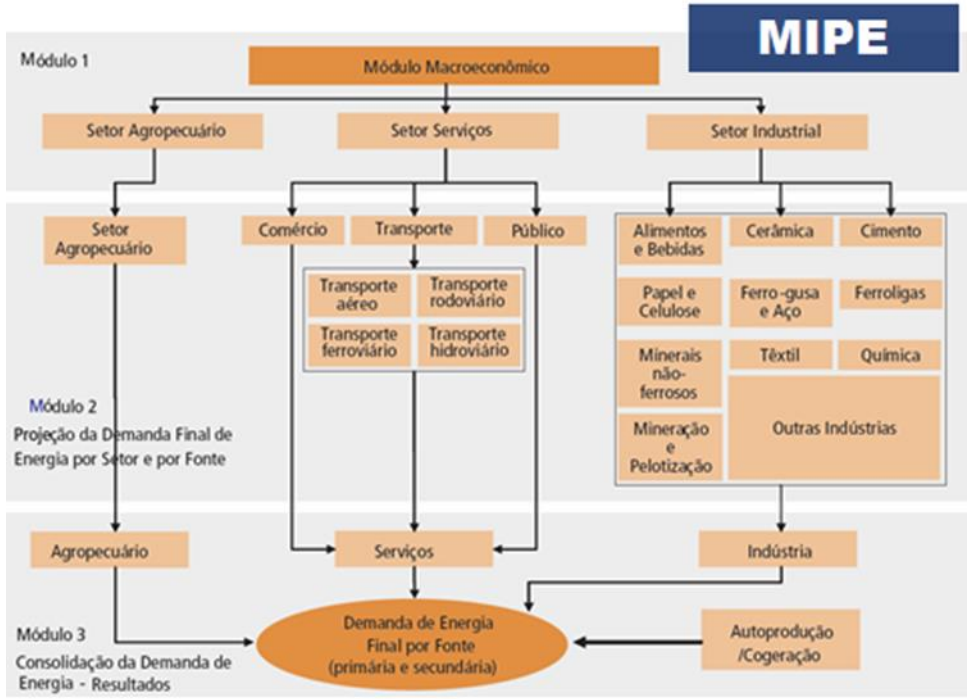
2030

Plano Nacional de Energia - 2030
Cenários de contexto
Cenários de demanda
Análise Estrutural da Demanda e Seleção das Variáveis Chaves
Construção de Cenários Exploratórios do Contexto
Análise Retrospectiva e Cenarização das Variáveis Chaves
Modelagem e Simulação de Variáveis Selecionadas
Modelagem e Simulação das Variáveis Determinantes da Demanda de Energia
Cenários exploratórios de demanda de energia
Monitoramento dos cenários

2031


Matriz morfológica
INCERTEZAS CRÍTICAS
HIPÓTESES
CENAS DE PARTIDA
CENÁRIO A
CENÁRIO B
CENÁRIO C
CENÁRIO D
INCERTEZA 1
Avaliação da incerteza 1 sob os Cenários A e B
Aval. Incert. 1 sob Cen. C
Aval. Incert. 1 sob Cen. D
...
...
...
...
...
INCERTEZA N
Aval. incert. N sob Cen. A
Avaliação da Incerteza N sob Cenários B e C
Aval. Incert. N sob Cen. D
Trajetória selecionada para compor o Cenário J de Longo Prazo
CENÁRIO J DE LONGO PRAZO

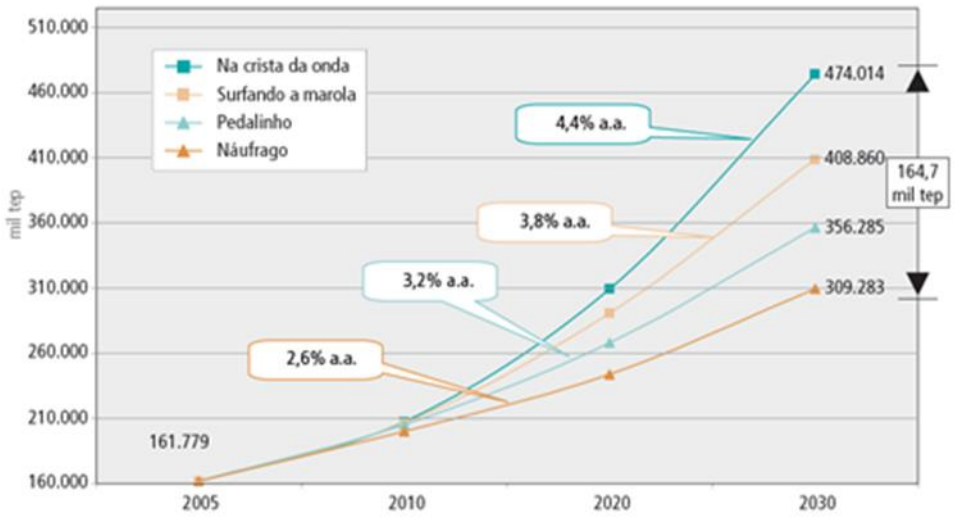
2032


MIPE
Módulo 1
Módulo Macroeconômico
Setor Agropecuário
Setor Serviços
Setor Industrial
Setor Agropecuário
Comércio
Transporte
Público
Transporte aéreo
Transporte rodoviário
Transporte ferroviário
Transporte hidroviário
Alimentos e Bebidas
Cerâmica
Cimento
Papel e Celulose
Ferro-gusa e Aço
Ferroligas
Minerais não-ferrosos
Têxtil
Química
Mineração e Pelotização
Outras Indústrias
Módulo 2
Projeção da Demanda Final de Energia por Setor e por Fonte
Agropecuário
Serviços
Indústria
Demanda de Energia Final por Fonte (primária e secundária)
Autoprodução /Cogeração
Módulo 3
Consolidação da Demanda de Energia - Resultados

Cenários do Brasil
Na crista da onda
Pedalinho
Surfando na marola
Náufrago

Sistema ambiental						
Intensidade dos impactos diretos e indiretos das restrições ambientais globais sobre o ecossistema nacional	Alta		Média		Baixa	
Grau de convergência sobre a sustentabilidade do uso dos recursos naturais	Mais rápida		Mais lenta		Nula	
Grau de aproveitamento das oportunidades criadas por regulação ambiental global	Alta participação	Média participação		Baixa participação	Sem oportunidades	
Sistema sócio-político						
Grau de consolidação institucional	Maior		Menor		Estável	
Grau de intensificação dos conflitos de natureza social e regional	Maior		Estabilização		Menor	
Magnitude da dimensão espacial dos conflitos sociais	Alta		Média		Baixa	
Sistema econômico						
Intensidade e velocidade da convergência do crescimento econômico entre regiões	Alta Rápida	Alta Média	Média Média	Média Lenta	Baixa Lenta	
Intensidade e velocidade da repartição da renda	Alta Rápida	Alta Média	Média Média	Média Lenta	Média Lenta	Baixa Média
Grau de implementação das reformas microeconômicas	Completo		Parcial		Nulo	
Estratégia de inserção na economia mundial	Mais multilateral			Menos multilateral		
Sistema setorial						
Grau de atratividade relativa dos setores da economia	Maior participação Serviços		Maior participação Agropecuária		Manutenção	
Desenvolvimento e/ou internalização de soluções tecnológicas	Maior Alta	Menor Alta	Menor Média	Menor Baixa	Maior Baixa	
Sistema energético						
Políticas energéticas	Integradas		Setoriais		Descoordenadas	
Organização industrial	Concentrada Verticalizada	Concentrada Desverticalizada		Mais aberta Verticalizada	Mais aberta Desverticalizada	
Regime de propriedade	Maior participação pública		Misto		Maior participação privada	
Arranjo comercial	Mais LP Mais flexível	Mais LP Menos flexível		Mais CP Mais flexível	Mais CP Menos flexível	
Arranjo institucional / Instrumentos	Mais adequado Suficientes	Mais adequado Insuficientes		Menos adequado Suficientes	Menos adequado Insuficientes	
Capacitação para P.E.C.	Alta		Média		Baixa	

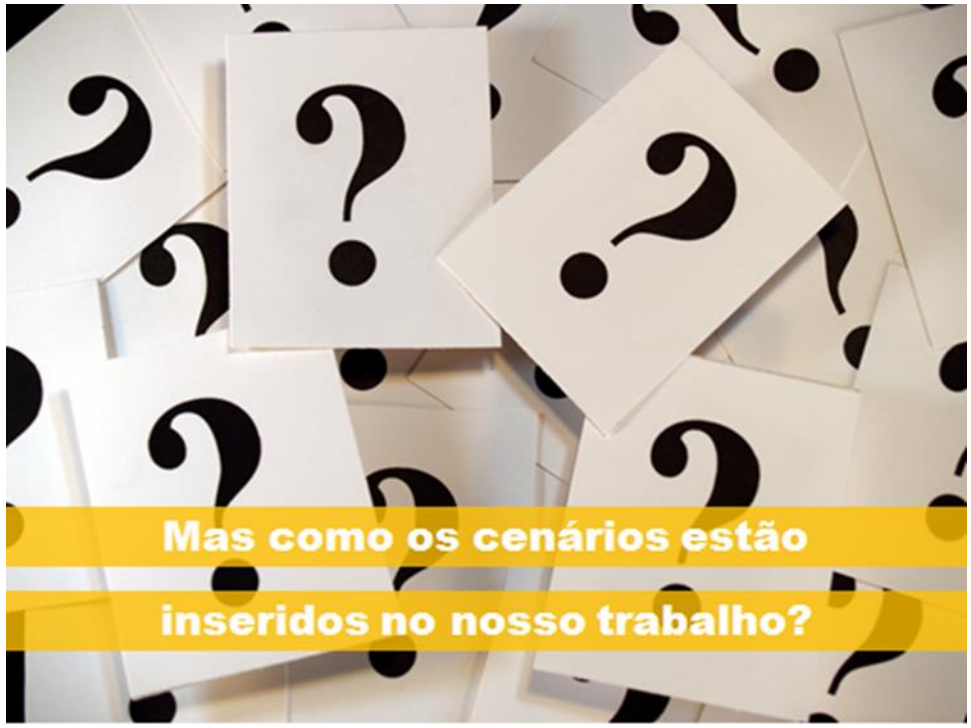
Consumo de energia por cenário



2036

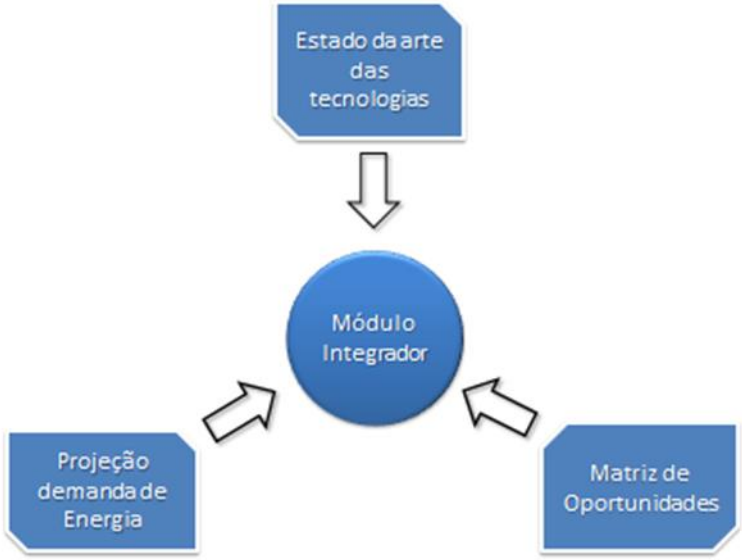
	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gás natural (mil m³)													
Consumo total	117	490	1.082	3.027	4.163	5.322	10.091	20.978	37.944	53.890	59.439	74.460	87.519
Transformação	37	76	79	488	749	887	2.126	5.934	12.032	18.707	15.947	17.989	24.177
Consumo final	80	414	1.003	2.539	3.414	4.435	7.965	15.044	25.912	35.184	43.492	56.471	63.342
Petróleo (mil m³)													
Consumo total	29.833	51.156	63.162	62.952	68.098	71.150	92.437	98.827	107.035	147.115	166.845	179.176	191.507
Transformação	29.833	51.156	63.162	62.952	68.098	71.150	92.437	98.827	107.035	147.115	166.845	179.176	191.507
Lenha (1000 t)													
Consumo total	102.788	106.991	100.309	106.252	92.091	75.069	74.410	91.676	90.587	92.248	90.322	95.136	98.771
Transformação	11.316	23.606	29.757	41.963	41.632	32.971	30.434	39.678	36.436	40.142	35.743	36.252	37.509
Consumo final	91.472	83.385	70.552	64.289	50.459	42.098	43.976	51.998	54.152	52.106	54.579	58.884	61.262
Carvão metalúrgico (1000 t)													
Consumo total	2.475	3.114	5.694	9.476	10.287	11.818	13.226	14.016	14.856	21.365	22.147	23.857	26.108
Transformação	2.475	3.114	5.694	9.476	10.287	10.984	9.861	9.721	8.824	12.531	12.934	13.247	14.309
Consumo final	0	0	0	0	0	834	3.365	4.295	6.031	8.833	9.213	10.611	11.799
Eletricidade (1000 mwh)													
Consumo total	39.668	69.852	122.705	173.564	217.657	264.805	331.638	375.193	486.491	602.554	707.282	852.291	1.056.796
Consumo final	39.668	69.852	122.705	173.564	217.657	264.805	331.638	375.193	486.491	602.554	707.282	852.291	1.056.796
Carvão vegetal (1000 t)													
Consumo total	2.462	5.143	6.615	9.573	9.504	7.611	7.455	9.671	9.259	10.197	9.075	9.201	9.515
Consumo final	2.462	5.143	6.615	9.573	9.504	7.611	7.455	9.671	9.259	10.197	9.075	9.201	9.515
Etanol (1000 m3)													
Consumo total	598	532	3.168	9.019	12.390	14.512	12.386	13.989	17.504	25.566	32.442	40.739	52.499
Consumo final	598	532	3.168	9.019	12.390	14.512	12.386	13.989	17.504	25.566	32.442	40.739	52.499
Energia hidráulica (1000 mwh)													
Consumo total	39.801	72.287	128.907	178.375	206.708	253.905	304.403	337.457	412.098	488.383	592.501	713.145	835.288
Transformação	39.801	72.287	128.907	178.375	206.708	253.905	304.403	337.457	412.098	488.383	592.501	713.145	835.288
Urânio (1000 kg)													
Consumo total	0	0	0	0	0	76	200	455	455	746	971	1.396	1.646
Transformação	0	0	0	0	0	76	200	455	455	746	971	1.396	1.646

Principais elaboradores

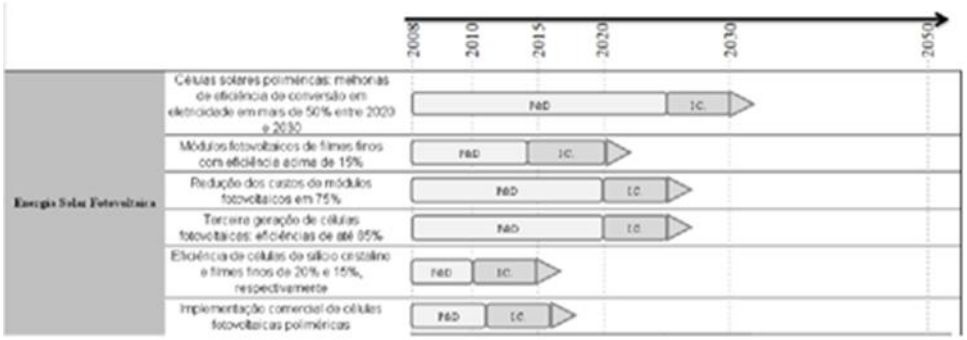

Mas como os cenários estão
inseridos no nosso trabalho?

Módulo de Integração

...uma análise de caso - CGEE

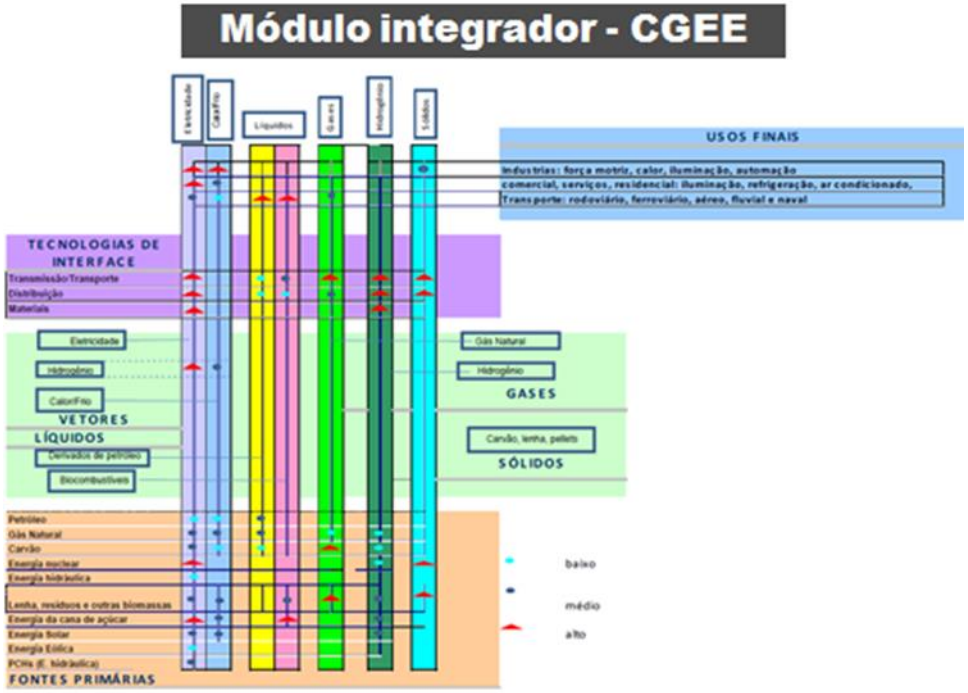


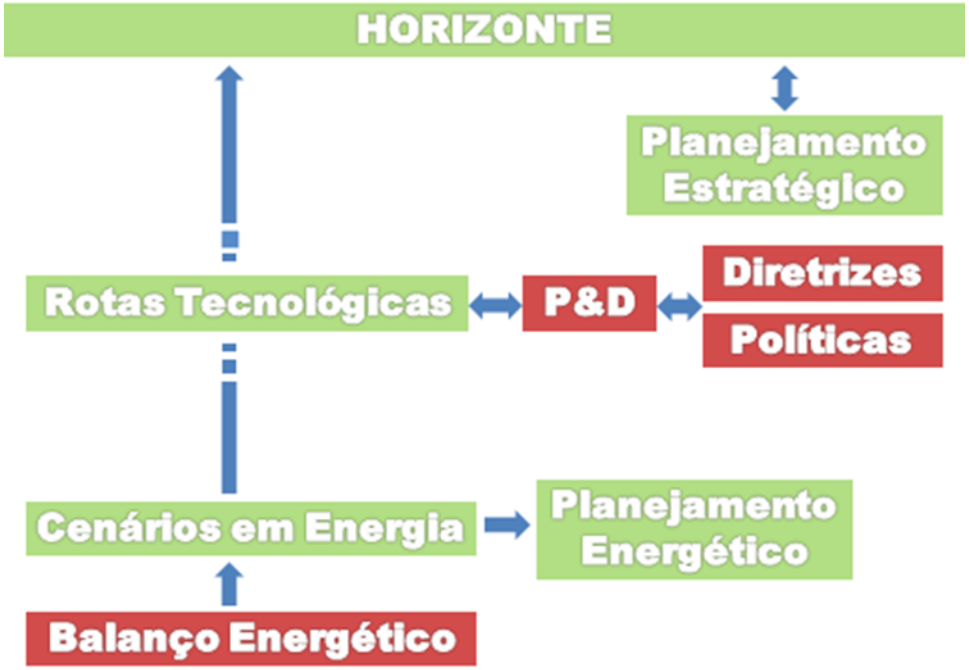
Estado da arte da tecnologia



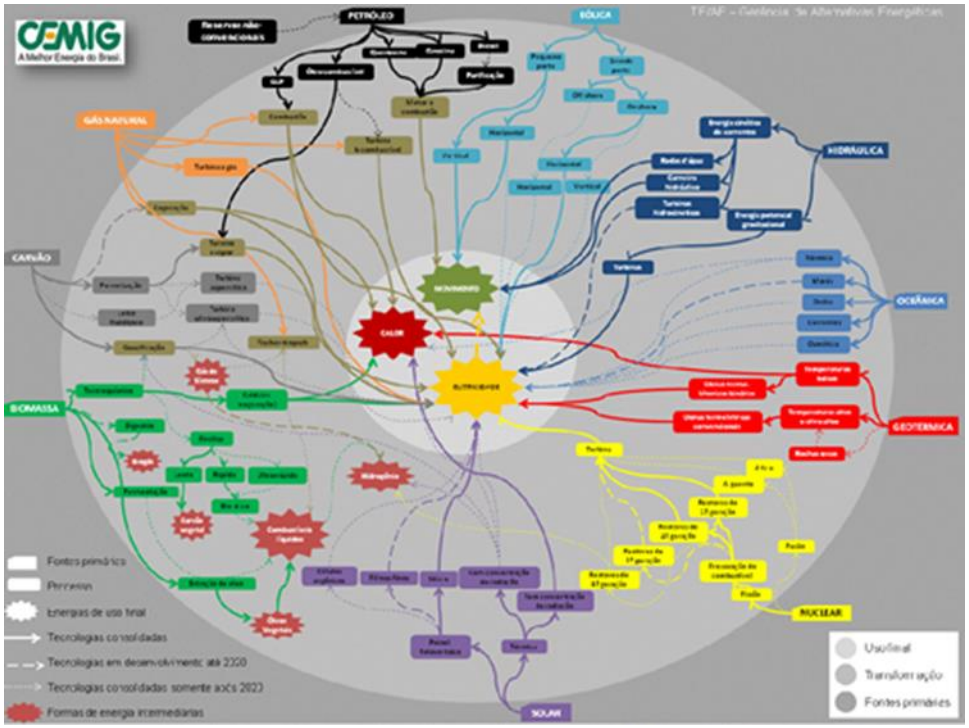
Matriz de Desafios

Fontes Primárias	*Áreas de problemas*					
	Situação de reservas	Aspectos sociais e regionais	Qualidade do ar	Saúde e segurança públicas	Uso de terra, biodiversidade e água	Mudanças climáticas
Petróleo						
Gás Natural						
Carvão						
Energia Hidráulica						
Biomassa						
Energia Solar						
Energia Eólica						
Energia Nuclear						

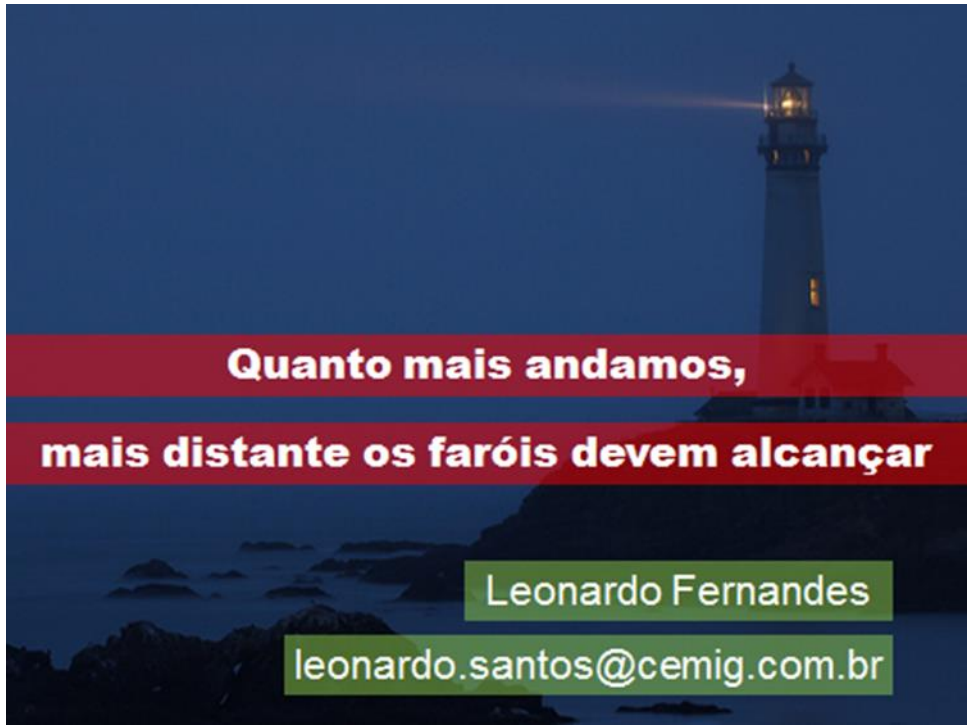

Módulo integrador - CGEE
Eletricidade
Calorífico
Líquidos
Gases
Hidrogênio
Sólidos
USOS FINAIS
Indústrias: força motriz, calor, iluminação, automação
comercial, serviços, residencial: iluminação, refrigeração, ar condicionado,
Transporte: rodoviário, ferroviário, aéreo, fluvial e naval
TECNOLOGIAS DE INTERFACE
Transmissão/Transporte
Distribuição
Materiais
Eletricidade
Hidrogênio
Calorífico
VETORES
LÍQUIDOS
Derivados de petróleo
Biocombustíveis
Gás Natural
Hidrogênio
GASES
Carvão, lenha, pellets
SÓLIDOS
Petróleo
Gás Natural
Carvão
Energia nuclear
Energia hidráulica
Lenha, resíduos e outras biomassas
Energia da cana de açúcar
Energia Solar
Energia Eólica
PCHs (E. hidráulica)
FONTES PRIMÁRIAS
baixo
médio
alto


HORIZONTE
Planejamento Estratégico
Rotas Tecnológicas
P&D
Diretrizes
Políticas
Cenários em Energia
Planejamento Energético
Balanço Energético

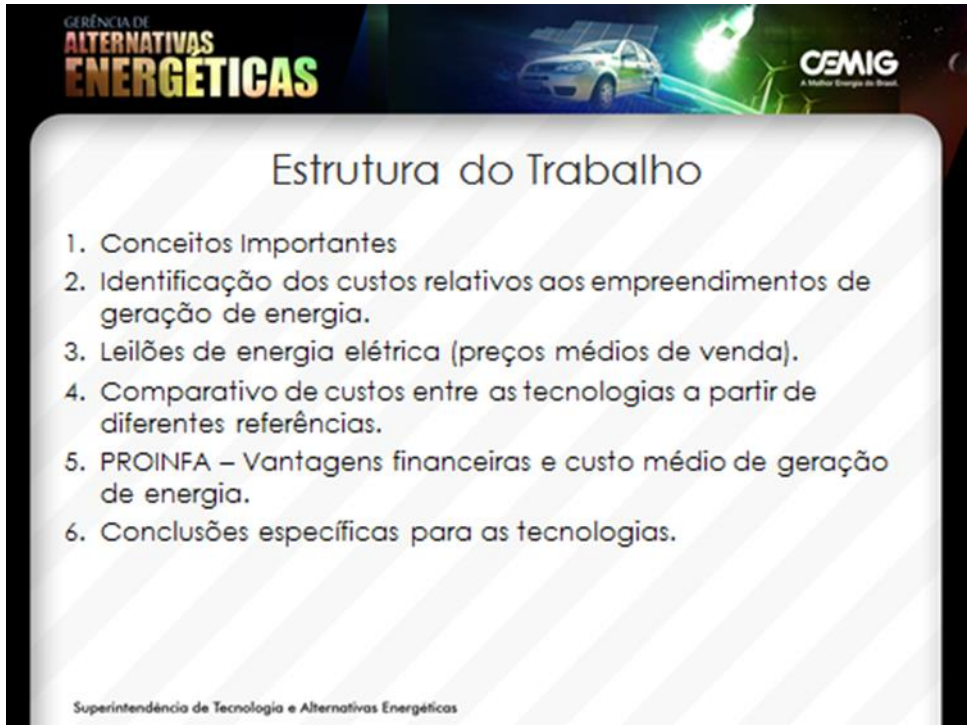
2045


CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
PETRÓLEO
BIOMASSA
GÁS NATURAL
CARVÃO
HIDRÁULICA
OCEÂNICA
GEOTÉRMICA
NUCLEAR
SOLAR
CALOR
ELETRICIDADE
Fontes primárias
Transformação
Usos finais

Principais elaboradores


Quanto mais andamos,
mais distante os faróis devem alcançar
Leonardo Fernandes
leonardo.santos@cemig.com.br

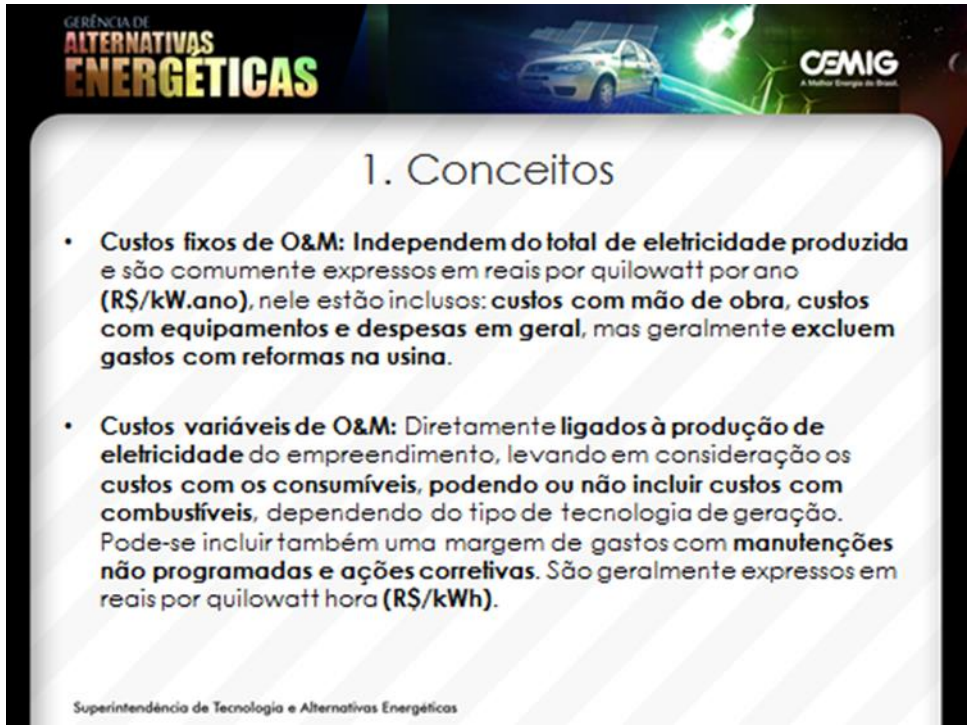
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CUSTOS REFERENTES ÀS TECNOLOGIAS
DE GERAÇÃO DE ENERGIA
Superintendência de
Tecnologia e Alternativas Energéticas
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

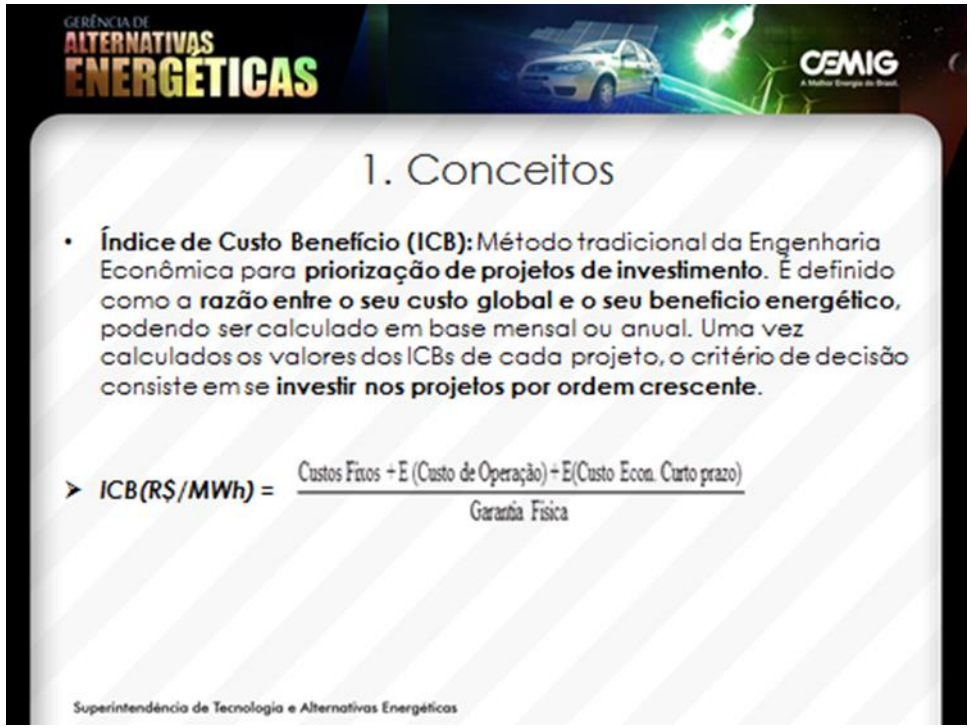

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Estrutura do Trabalho
1. Conceitos Importantes
2. Identificação dos custos relativos aos empreendimentos de geração de energia.
3. Leilões de energia elétrica (preços médios de venda).
4. Comparativo de custos entre as tecnologias a partir de diferentes referências.
5. PROINFA – Vantagens financeiras e custo médio de geração de energia.
6. Conclusões específicas para as tecnologias.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

2050

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
1. Conceitos
•Custo Total da Planta (Total Plant Costs – TPC);
•Requerimento Total de Capital (Total Capital Requirement – TCR);
•Custos Fixos e Variáveis de Operação e Manutenção;
•Índice de Custo Benefício – ICB;
•Curva de Aprendizado;
•Levelized Cost of Electricity – LCOE;
•Custo Variável Unitário de Geração – CVU;
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
1. Conceitos
• Custo do investimento
• Custo Total da Planta (TPC): Custo de todas as partes e todo o trabalho necessário para a construção da planta, excluindo os custos gerados pelo tempo da construção (custos relacionados a financiamento e inflação).
• Requerimento Total de Capital (TCR): Descreve os custos reais de um projeto, inclui todos os custos que incorrem até a operação da planta estão inclusos o TPC, os custos do proprietário (terreno, infraestrutura, administração, licenciamento, etc), o valor do dinheiro no tempo e os custos de início da operação.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
1. Conceitos
• Custos fixos de O&M: Independem do total de eletricidade produzida e são comumente expressos em reais por quilowatt por ano (R$/kW.ano), nele estão inclusos: custos com mão de obra, custos com equipamentos e despesas em geral, mas geralmente excluem gastos com reformas na usina.
• Custos variáveis de O&M: Diretamente ligados à produção de eletricidade do empreendimento, levando em consideração os custos com os consumíveis, podendo ou não incluir custos com combustíveis, dependendo do tipo de tecnologia de geração. Pode-se incluir também uma margem de gastos com manutenções não programadas e ações corretivas. São geralmente expressos em reais por quilowatt hora (R$/kWh).
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

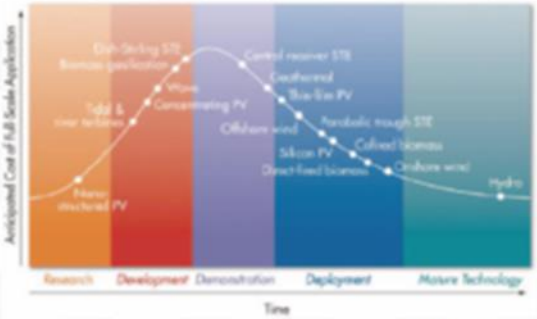

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
1. Conceitos
• Índice de Custo Benefício (ICB): Método tradicional da Engenharia Econômica para priorização de projetos de investimento. É definido como a razão entre o seu custo global e o seu beneficio energético, podendo ser calculado em base mensal ou anual. Uma vez calculados os valores dos ICBs de cada projeto, o critério de decisão consiste em se investir nos projetos por ordem crescente.
➢ ICB(R$/MWh) = (Custos Fixos + E (Custo de Operação) + E(Custo Econ. Curto prazo)) / Garantia Física
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

1. Conceitos

- **Curva de aprendizado:** Reflete a possibilidade da redução dos custos da tecnologia em função do tempo ou em função do crescimento acumulado da capacidade instalada da mesma.



Fonte: EPRI (2010)

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

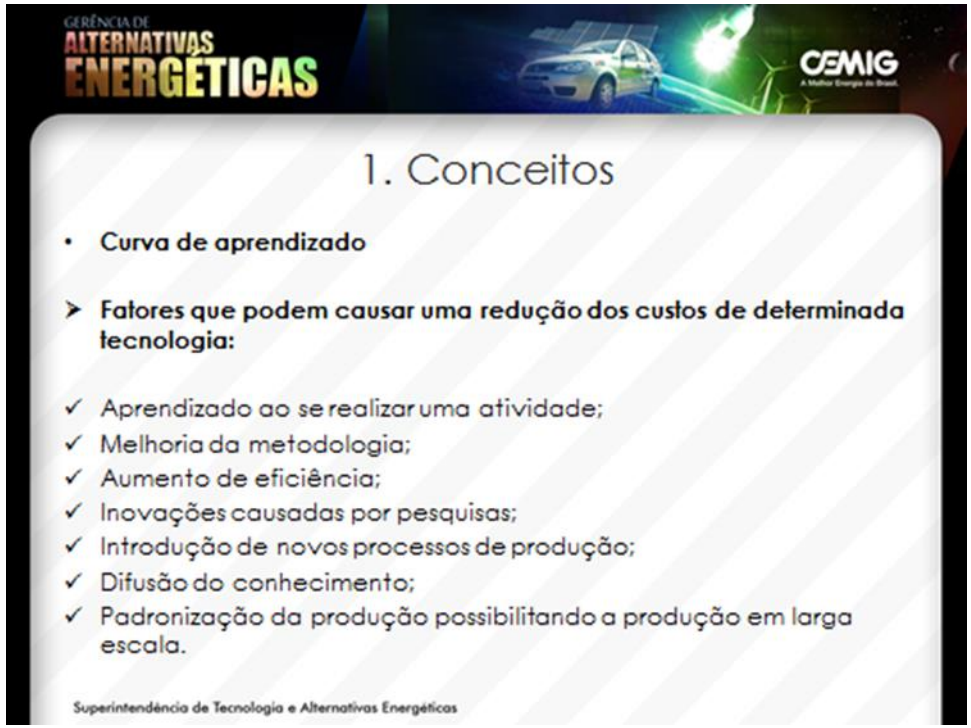
GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

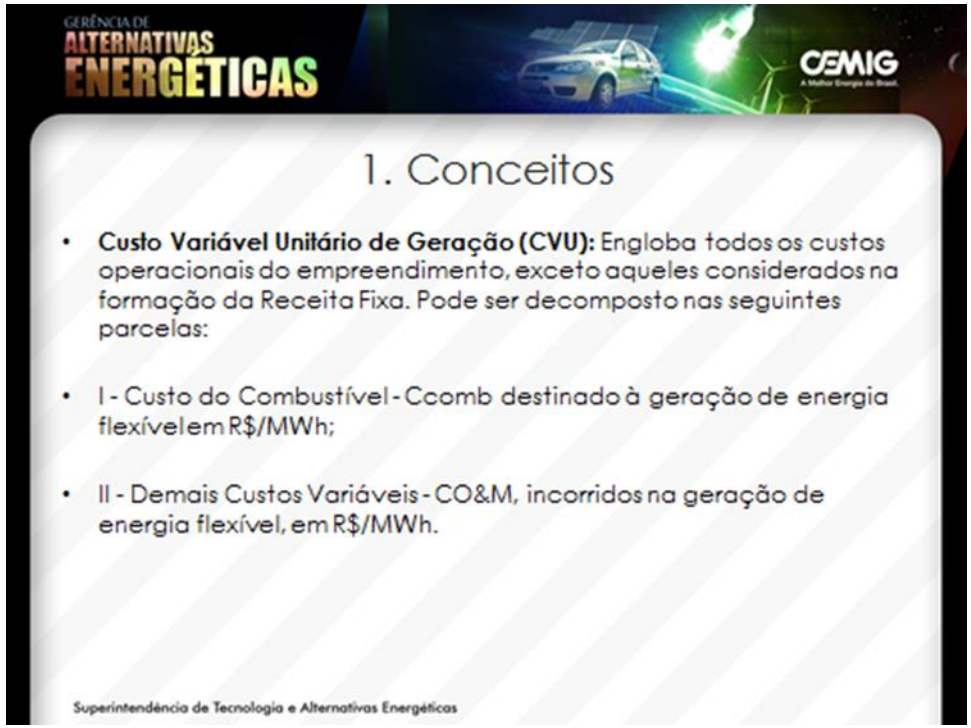
Curva de aprendizado

Fonte: Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Energia – USP). Valer Morales, Luis Roberto – São Paulo 2011

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
1. Conceitos
• Curva de aprendizado
➢ Fatores que podem causar uma redução dos custos de determinada tecnologia:
✓ Aprendizado ao se realizar uma atividade;
✓ Melhoria da metodologia;
✓ Aumento de eficiência;
✓ Inovações causadas por pesquisas;
✓ Introdução de novos processos de produção;
✓ Difusão do conhecimento;
✓ Padronização da produção possibilitando a produção em larga escala.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
1. Conceitos
• Levelized Cost of Electricity (LCOE): É obtida dividindo o valor presente dos custos totais ocorridos durante a vida útil da usina pela energia produzida durante o mesmo período. Pode ser comparada à tarifa de equilíbrio e a unidade utilizada para expressá-la é US$/MWh.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

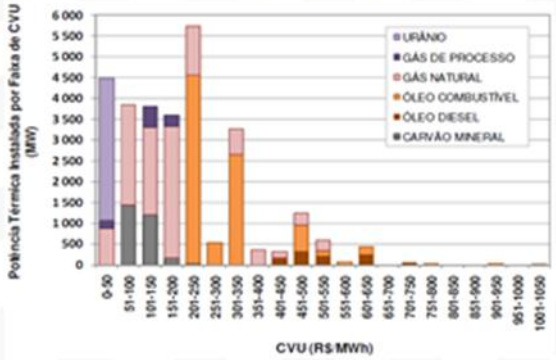

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
1. Conceitos
• Custo Variável Unitário de Geração (CVU): Engloba todos os custos operacionais do empreendimento, exceto aqueles considerados na formação da Receita Fixa. Pode ser decomposto nas seguintes parcelas:
• I - Custo do Combustível - Ccomb destinado à geração de energia flexível em R$/MWh;
• II - Demais Custos Variáveis - CO&M, incorridos na geração de energia flexível, em R$/MWh.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

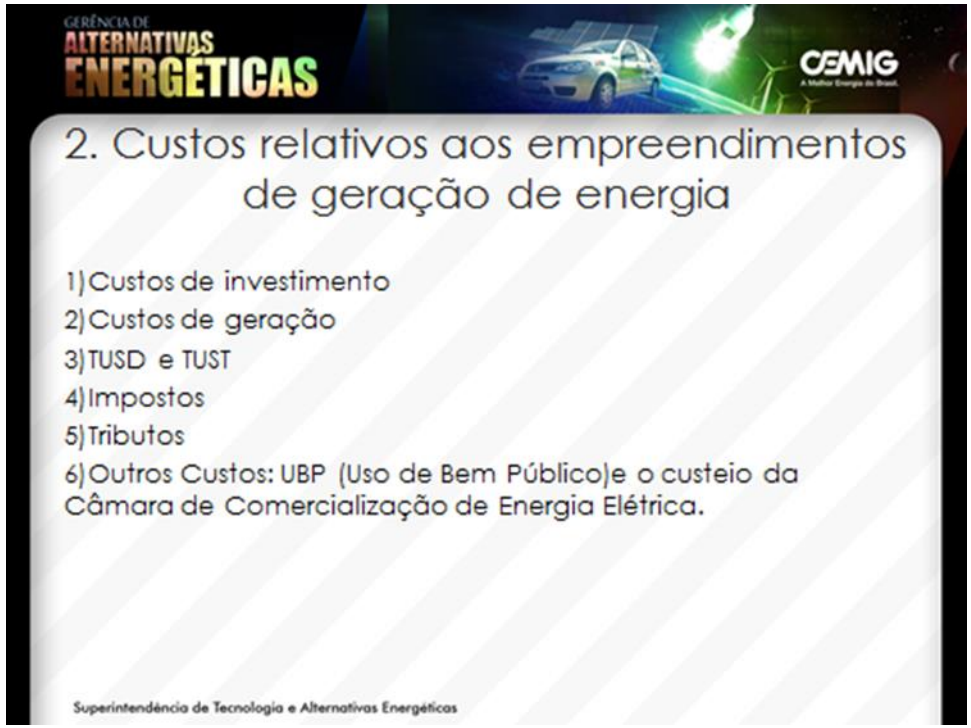
1. Conceitos

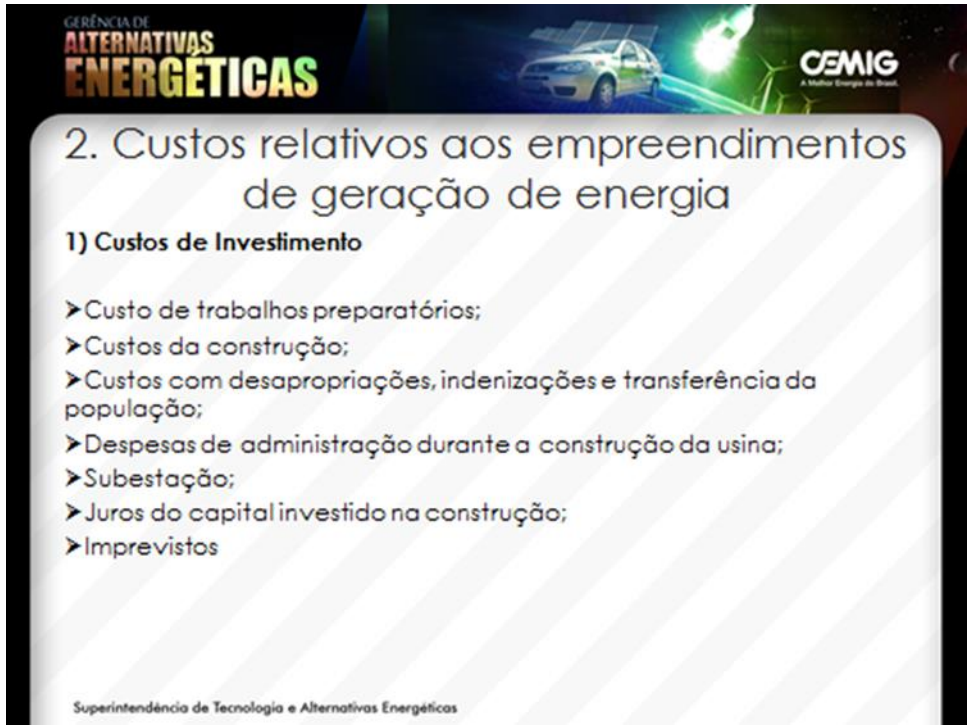
- **Custo Variável Unitário de Geração (CVU)**

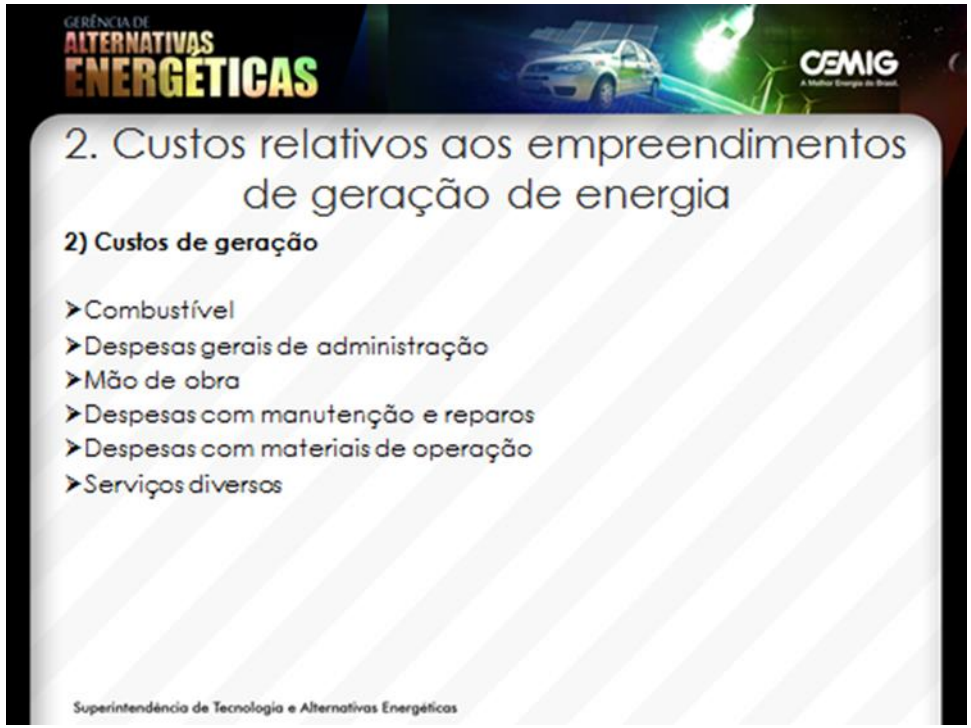


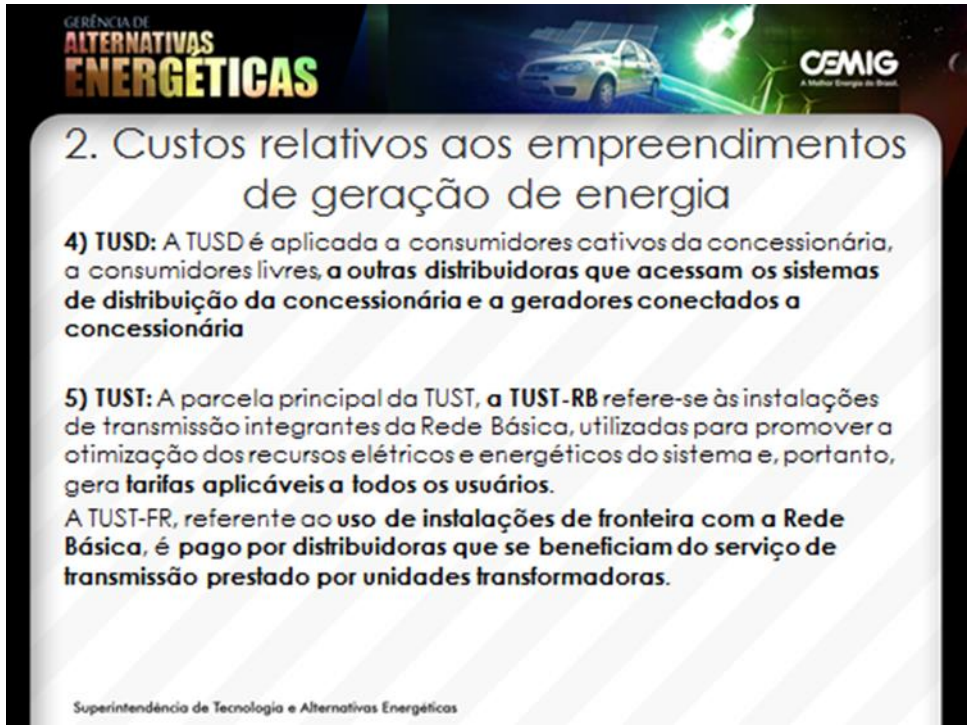
FONTE: PDE 2020

Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

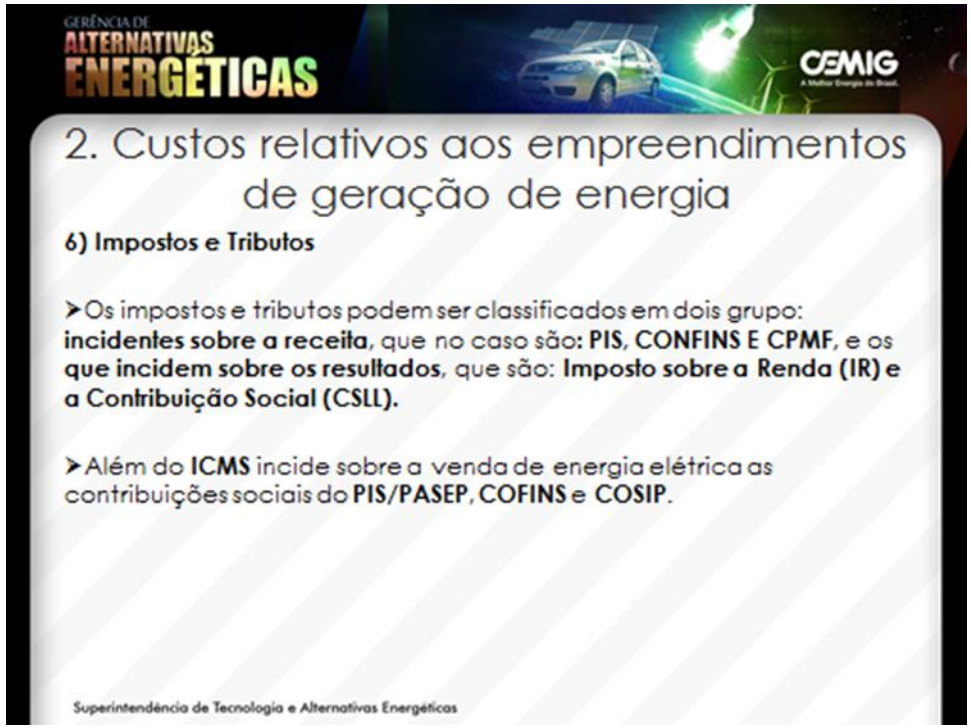

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
2. Custos relativos aos empreendimentos de geração de energia
1) Custos de investimento
2) Custos de geração
3) TUSD e TUST
4) Impostos
5) Tributos
6) Outros Custos: UBP (Uso de Bem Público)e o custeio da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

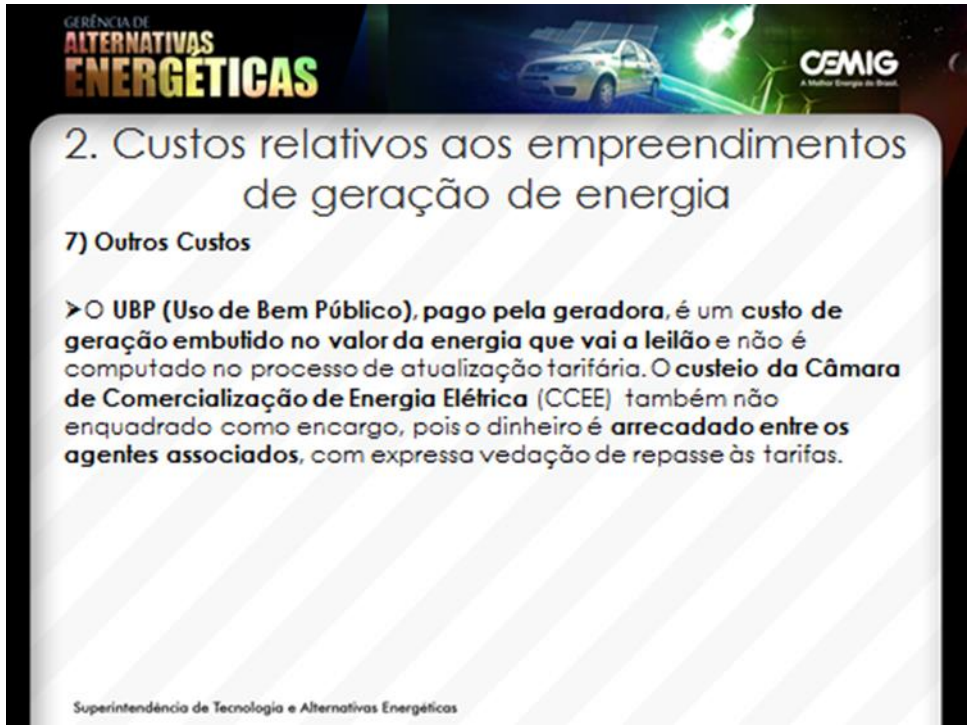

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
2. Custos relativos aos empreendimentos de geração de energia
1) Custos de Investimento
➢Custo de trabalhos preparatórios;
➢Custos da construção;
➢Custos com desapropriações, indenizações e transferência da população;
➢Despesas de administração durante a construção da usina;
➢Subestação;
➢Juros do capital investido na construção;
➢Imprevistos
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
2. Custos relativos aos empreendimentos de geração de energia
2) Custos de geração
Combustível
Despesas gerais de administração
Mão de obra
Despesas com manutenção e reparos
Despesas com materiais de operação
Serviços diversos
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
2. Custos relativos aos empreendimentos de geração de energia
4) TUSD: A TUSD é aplicada a consumidores cativos da concessionária, a consumidores livres, a outras distribuidoras que acessam os sistemas de distribuição da concessionária e a geradores conectados a concessionária
5) TUST: A parcela principal da TUST, a TUST-RB refere-se às instalações de transmissão integrantes da Rede Básica, utilizadas para promover a otimização dos recursos elétricos e energéticos do sistema e, portanto, gera tarifas aplicáveis a todos os usuários.
A TUST-FR, referente ao uso de instalações de fronteira com a Rede Básica, é pago por distribuidoras que se beneficiam do serviço de transmissão prestado por unidades transformadoras.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

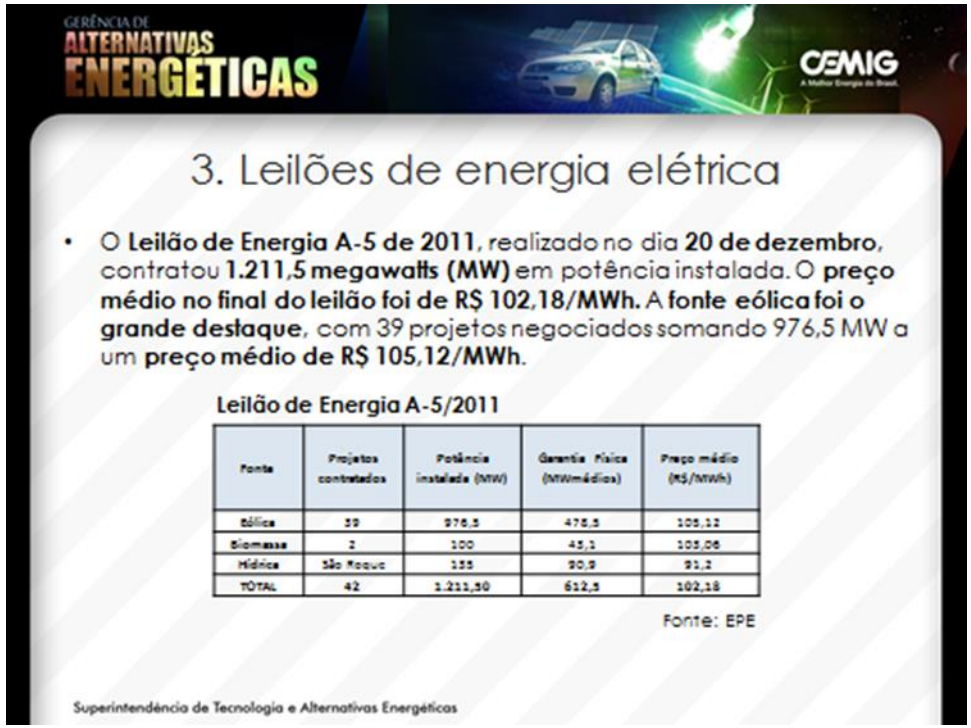
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
2. Custos relativos aos empreendimentos de geração de energia
5) TUST
Concessionária
Nome da Barra
Ponto de Conexão
Tarifa Rede Básica (R$/kW.mês)
Tarifa de Fronteira (R$/kW.mês)
Ponta
Fora Ponta
Ponta
Fora Ponta
CEMIG
ARACUAI-138
ARAÇUAÍ 2-138
5,238
1,052
1,279
0,246
BARBACEN-138
BARBACENA 2-138
5,462
1,107
0,852
0,145
BARREIRO-138
BARREIRO-138
5,47
1,101
0,92
0,173
EMBORCAC-138
EMBORCAÇÃO-138
4,108
0,798
0,503
0,1
IPATINGT-138
IPATINGA 1-138
5,801
1,164
0,67
0,133
JAGUARA-138
JAGUARA-SE-138
4,278
0,832
1,545
0,299
NEVES-138
NEVES 1-138
5,174
1,027
0,641
0,131
TAQUARIL-138
TAQUARIL-138
5,31
1,064
0,754
0,145
TMARIAS-138
TRÊS MARIAS-138
3,823
0,760
1,601
0,295
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
Fonte: ANEEL


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
2. Custos relativos aos empreendimentos de geração de energia
6) Impostos e Tributos
➢Os impostos e tributos podem ser classificados em dois grupo: incidentes sobre a receita, que no caso são: PIS, CONFINS E CPMF, e os que incidem sobre os resultados, que são: Imposto sobre a Renda (IR) e a Contribuição Social (CSLL).
➢Além do ICMS incide sobre a venda de energia elétrica as contribuições sociais do PIS/PASEP, COFINS e COSIP.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
2. Custos relativos aos empreendimentos de geração de energia
7) Outros Custos
➢O UBP (Uso de Bem Público), pago pela geradora, é um custo de geração embutido no valor da energia que vai a leilão e não é computado no processo de atualização tarifária. O custeio da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) também não enquadrado como encargo, pois o dinheiro é arrecadado entre os agentes associados, com expressa vedação de repasse às tarifas.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

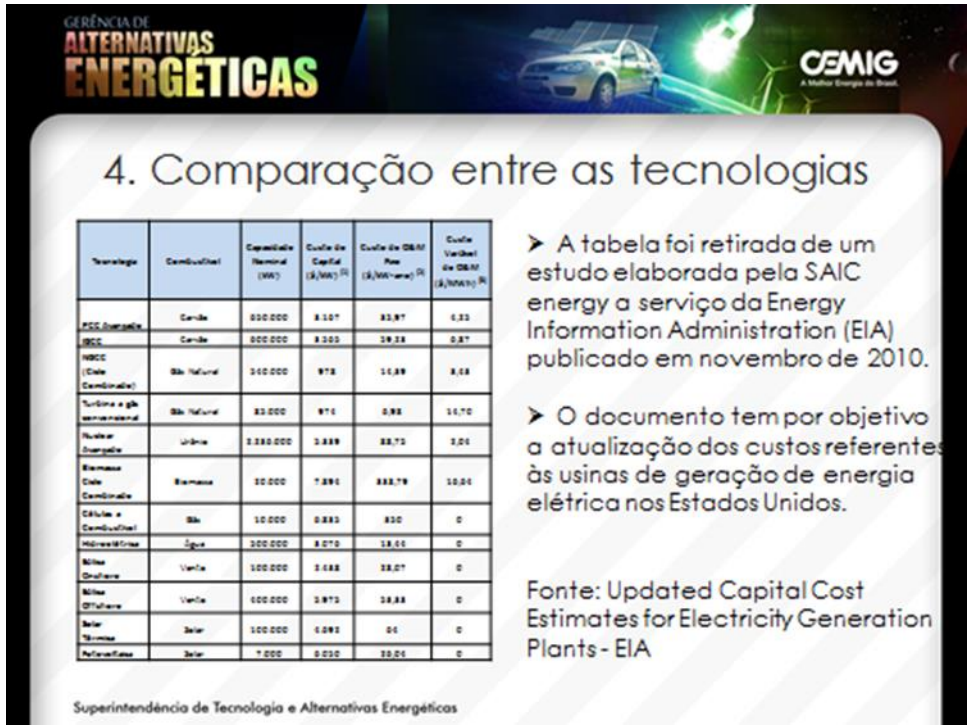
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
3. Leilões de energia elétrica
• O Leilão de Energia A-3 de 2011, realizado no dia 17 de agosto, resultou na comercialização de 2.744,6 megawatts (MW) de nova capacidade ao sistema elétrico brasileiro, que será gerada pelas 51 usinas contratadas – a serem viabilizadas nos próximos três anos. A licitação obteve um preço médio de 102,07 R$/MWh. É importante ressaltar o baixo preço médio de venda das fontes eólica, biomassa e gás natural.
Leilão de Energia A-3/2011
Fonte | Projetos contratados | Potência instalada (MW) | Garantia Física (MWmédios) | Preço médio (R$/MWh)
Eólica | 44 | 1.067,70 | 454,2 | 99,58
Biomassa | 4 | 197,8 | 91,7 | 102,41
Hídrica | 1 | 450 | 209,5 | 102
Gás natural | 2 | 1.029,10 | 900,9 | 105,26
TOTAL | 51 | 2.744,60 | 1.686,10 | 102,07
Fonte: EPE
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

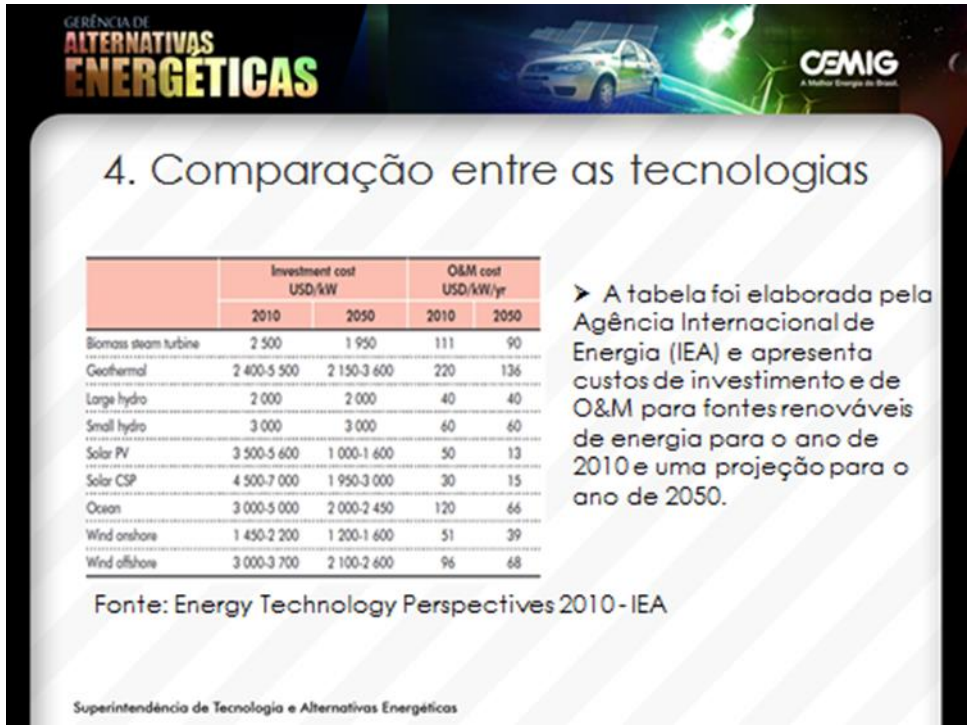
Fonte	Projetos contratados	Potência instalada (MW)	Garantia Física (MWmédios)	Preço médio (R$/MWh)
Eólica	34	661,1	428,6	99,34
Biomassa	7	557	160,5	100,4
TOTAL	41	1.218,10	589,3	99,61

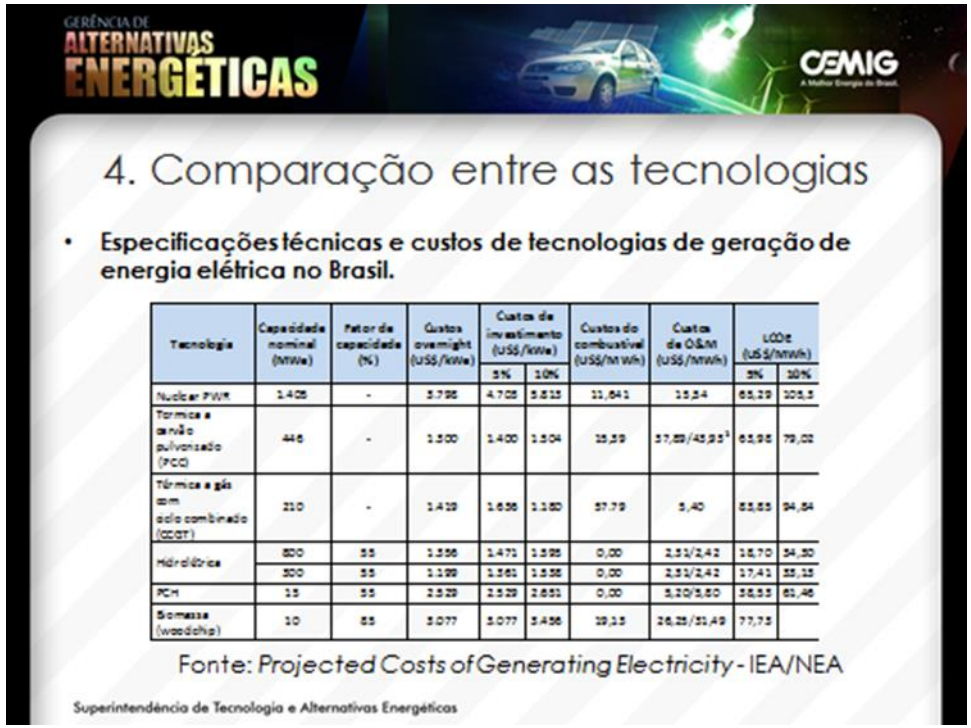


Fonte	Projetos contratados	Potência instalada (MW)	Garantia Física (MWmédios)	Preço médio (R$/MWh)
Eólica	39	976,5	476,5	105,12
Biomassa	2	100	45,1	105,06
Hídrica	São Roque	135	90,9	91,2
TOTAL	42	1.211,50	612,5	102,18

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
3. Leilões de energia elétrica
Leilões de energia elétrica realizados no ano de 2010
Tipo de Leilão | Fonte | Potência Instalada (MW) | Garantia Física (Mwmédios) | Início do Suprimento | Preço Médio (R$/MWh)
Leilão Sistemas Isolados | Biomassa (Cavaco/Resíduo da Madeira) | - | 8,1 | 2012 a 2015 | 148,85
Leilão Uhe Belo Monte | Hídrica | 11.233 | 4.571 | 2015 | 77,97
Leilão de Energia A-5 | Hídrica | 806,9 | 527 | 2015 | 99,45
Leilão de Reserva | Eólica | 1.206,60 | 445,1 | 2015 | 130,86
Biomassa (Bagaço de Cana) | | | 2011 ou 2012 | 144,20
PCH | | | 2015 | 141,93
Leilão de Fontes Alternativas A-5 | Eólica | 1665,6 | 714,3 | 2015 | 130,86
Biomassa (Bagaço de Cana) | | | | 144,20
PCH | | | | 141,93
Leilão de Energia A-1 | - | - | 98 | 2011 | 105,04
Leilão de Energia A-5 | Hídrica | 2.120 | 966 | 2015 | 67,31
Fonte: EPE
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

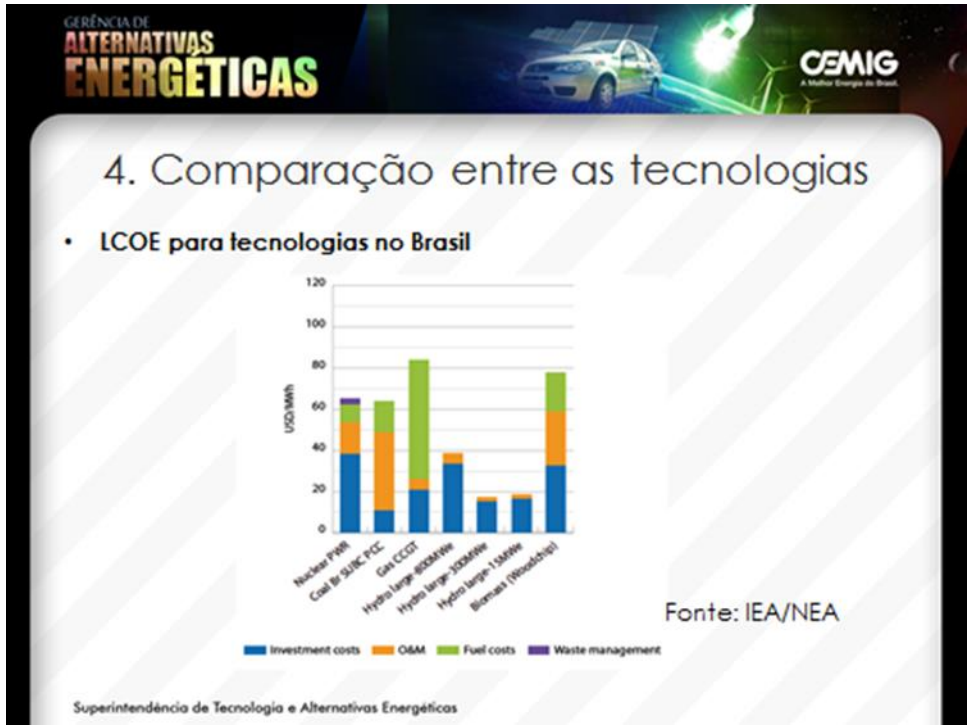

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
4. Comparação entre as tecnologias
➢ A tabela foi retirada de um estudo elaborada pela SAIC energy a serviço da Energy Information Administration (EIA) publicado em novembro de 2010.
➢ O documento tem por objetivo a atualização dos custos referentes às usinas de geração de energia elétrica nos Estados Unidos.
Fonte: Updated Capital Cost Estimates for Electricity Generation Plants - EIA
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

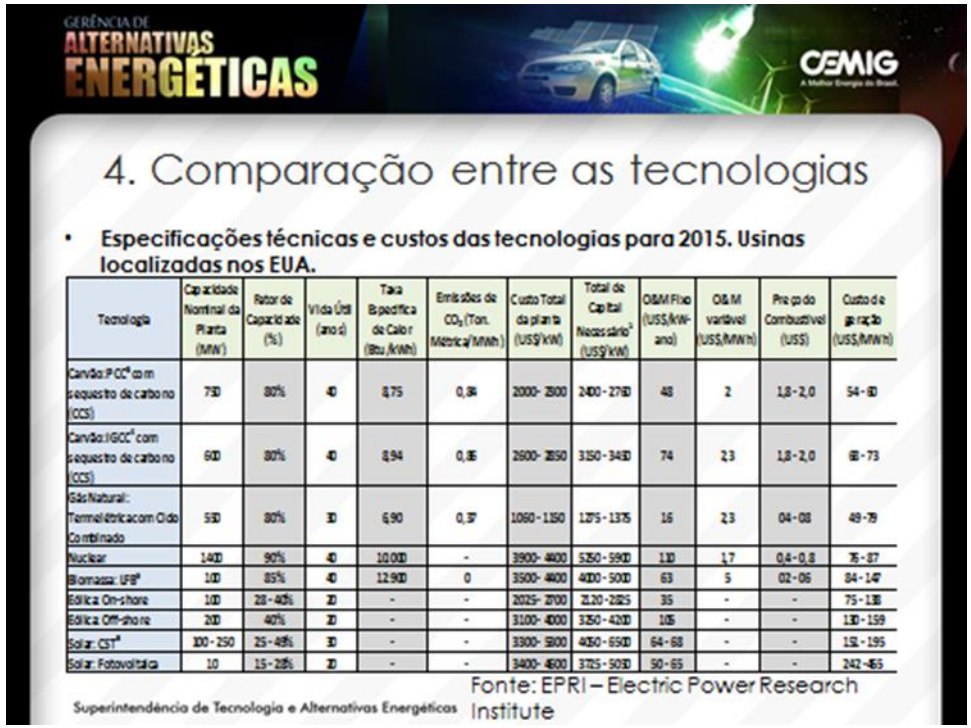

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
4. Comparação entre as tecnologias
Investment cost USD/kW
O&M cost USD/kW/yr
2010
2050
2010
2050
Biomass steam turbine 2 500 1 950 111 90
Geothermal 2 400-5 500 2 150-3 600 220 136
Large hydro 2 000 2 000 40 40
Small hydro 3 000 3 000 60 60
Solar PV 3 500-5 600 1 000-1 600 50 13
Solar CSP 4 500-7 000 1 950-3 000 30 15
Ocean 3 000-5 000 2 000-2 450 120 66
Wind onshore 1 450-2 200 1 200-1 600 51 39
Wind offshore 3 000-3 700 2 100-2 600 96 68
➢ A tabela foi elaborada pela Agência Internacional de Energia (IEA) e apresenta custos de investimento e de O&M para fontes renováveis de energia para o ano de 2010 e uma projeção para o ano de 2050.
Fonte: Energy Technology Perspectives 2010 - IEA
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas



Tecnologia	Capacidade nominal (MWe)	Fator de capacidade (%)	Custos overnight (US$/kWe)	Custos de investimento (US$/kWe)		Custos do combustível (US$/MWh)	Custos de O&M (US$/MWh)	LCOE (US$/MWh)	
				5%	10%			5%	10%
Nuclear PWR	1.405	-	3.798	4.705	5.813	11,641	15,54	65,29	105,3
Térmica a carvão pulverizado (PCC)	446	-	1.500	1.400	1.504	15,59	37,89/43,95[1]	63,98	79,02
Térmica a gás com ciclo combinado (CCGT)	210	-	1.419	1.636	1.180	57,79	5,40	83,85	94,84
Hidrelétrica	800	55	1.356	1.471	1.595	0,00	2,51/2,42	18,70	34,30
	300	55	1.199	1.361	1.558	0,00	2,51/2,42	17,41	33,13
PCH	15	55	2.529	2.529	2.651	0,00	5,20/5,80	38,53	61,46
Biomassa (woodchip)	10	85	3.077	3.077	3.456	19,13	26,25/31,49	77,73	

Especificações		Nuclear	Térmica a gás com ciclo combinado	Eólica Onshore	Solar FV
Capacidade Nominal (MW)		1.400	480	45	1
Custo Overnight (US$/kW)		4.101	1.016	2.345,64	6005,79
O&M (US$/MWh)		14,74	4,45	21,92	29,95
Custo do Combustível (US$/MWh)		9,55	61,12	0	0
Eficiência (%)		33	57	-	-
Fator de Capacidade (%)		85	85	26	15
Tempo de Construção (anos)		7	2	1	1
Vida Útil (anos)		60	30	25	25
LCOE (US$/MWh)	5%	58,55	85,77	96,74	410,61
	10%	95,75	92,11	137,16	616,55


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
4. Comparação entre as tecnologias
• LCOE para tecnologias no Brasil
120
100
80
60
40
20
0
USD/MWh
Nuclear PWR
Coal Br SUBC PCC
Gas CCGT
Hydro large 400MWe
Hydro large 350MWe
Hydro large 11MWe
Biomass (Woodchip)
Fonte: IEA/NEA
Investment costs
O&M
Fuel costs
Waste management
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
4. Comparação entre as tecnologias
• Especificações técnicas e custos das tecnologias para 2015. Usinas localizadas nos EUA.
Tecnologia | Capacidade Nominal da Planta (MW) | Fator de Capacidade (%) | Vida Útil (anos) | Taxa Específica de Calor (Btu/kWh) | Emissões de CO_2 (Ton. Métrica/MWh) | Custo Total da planta (US$/kW) | Total de Capital Necessário (US$/kW) | O&M Fixo (US$/kW-ano) | O&M variável (US$/MWh) | Preço do Combustível (US$) | Custo de geração (US$/MWh)
Carvão: PCC com sequestro de carbono (CCS) | 750 | 80% | 40 | 8,75 | 0,84 | 2000 - 2600 | 2400 - 2760 | 48 | 2 | 1,8 - 2,0 | 54 - 80
Carvão: IGCC com sequestro de carbono (CCS) | 600 | 80% | 40 | 8,94 | 0,85 | 2600 - 2850 | 3150 - 3410 | 74 | 2,3 | 1,8 - 2,0 | 68 - 73
Gás Natural: Termelétrica com Ciclo Combinado | 550 | 80% | 30 | 6,90 | 0,37 | 1060 - 1150 | 1275 - 1375 | 16 | 2,3 | 04 - 08 | 49 - 79
Nuclear | 1400 | 90% | 40 | 10.000 | - | 3900 - 4400 | 5250 - 5900 | 110 | 1,7 | 0,4 - 0,8 | 76 - 87
Biomassa: UFB | 100 | 85% | 40 | 12.900 | 0 | 3500 - 4600 | 4000 - 5000 | 63 | 5 | 02 - 06 | 84 - 147
Eólica: On-shore | 100 | 28 - 40% | 20 | - | - | 2025 - 2700 | 2120 - 2825 | 35 | - | - | 75 - 138
Eólica: Off-shore | 200 | 40% | 20 | - | - | 3100 - 4000 | 3250 - 4200 | 105 | - | - | 130 - 159
Solar: CST | 100 - 250 | 25 - 48% | 30 | - | - | 3300 - 5800 | 4050 - 6500 | 64 - 68 | - | - | 151 - 195
Solar: Fotovoltaica | 10 | 15 - 28% | 20 | - | - | 3400 - 4600 | 3725 - 5030 | 50 - 65 | - | - | 242 - 465
Fonte: EPRI – Electric Power Research Institute
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
4. Comparação entre as tecnologias
• Terceiro Ciclo de Revisão Tarifária Periódica: é um processo que ocorre de tempos em tempos para avaliar e corrigir os valores das tarifas de energia elétrica praticadas por uma determinada concessionária distribuidora
➢ No caso da geração térmica nos sistemas isolados, foram considerados os valores definidos no Anexo IV da Resolução Normativa nº 427/2011 como referência de custos para a metodologia de cálculo sugerida no 3CRTP.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
4. Comparação entre as tecnologias
• Terceiro Ciclo de Revisão Tarifária Periódica. Valores de Referência para o Custo de Geração de Usina Termelétrica
Turbina Gás (gás natural)
Potência Instalada (kW) | Custo de O&M (R$/MW.h) | Receita Fixa (R$/MW.h) | Total (R$/MW.h)
Todas | 22,9 | 52,49 | 75,49
Ciclo Combinado (óleo diesel/PTE/OCTE)
Potência Instalada (kW) | Custo de O&M (R$/MW.h) | Receita Fixa (R$/MW.h) | Total (R$/MW.h)
Todas | 14,98 | 105,64 | 120,61
Ciclo Combinado (gás natural)
Potência Instalada (kW) | Custo de O&M (R$/MW.h) | Receita Fixa (R$/MW.h) | Total (R$/MW.h)
Todas | 13,66 | 89,82 | 103,48
Fonte: Nota Técnica nº 098/2011-SER/ANEEL de 14/04/2011
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

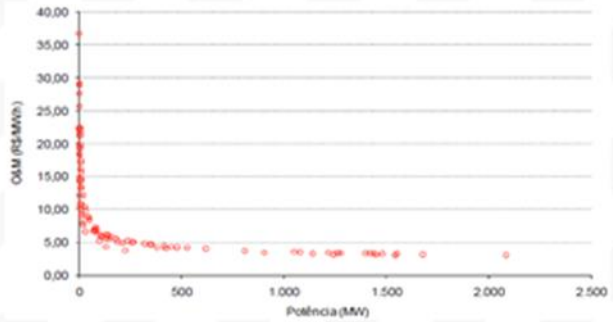
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
4. Comparação entre as tecnologias
No caso da geração hidráulica, a Nota Técnica nº 098/2011 apresenta resultados provenientes de um estudo realizado em 2006 pela Superintendência de Regulação da Geração (SRG/ANEEL) para avaliar a adequação dos custos de O&M considerados da Tarifa de Energia de Otimização (TEO).
O estudou teve como base a análise de dados coletados com mais de 100 geradores hidrelétricos presentes no SIN, com potência instalada de 1 MW a 2.000 MW.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

CEMIG

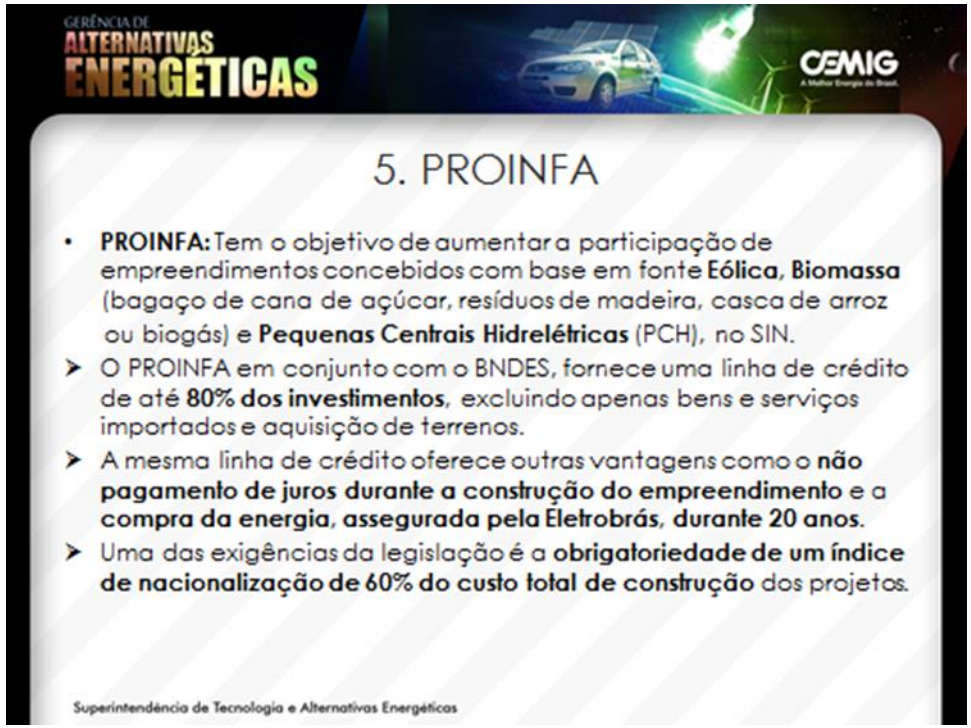
4. Comparação entre as tecnologias

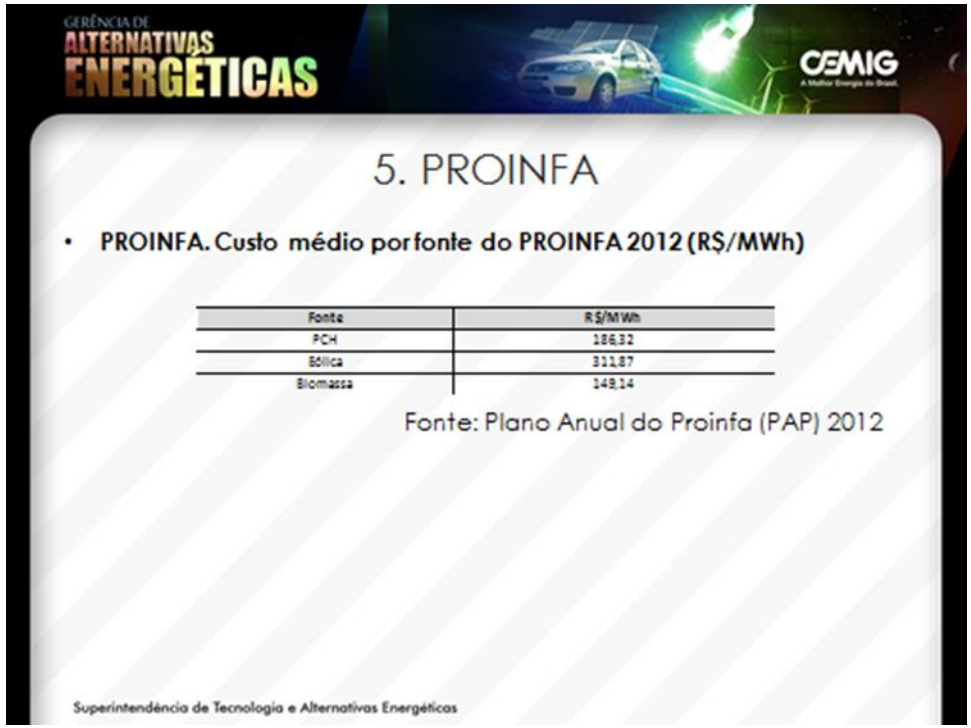
- O&M em função da potência instalada

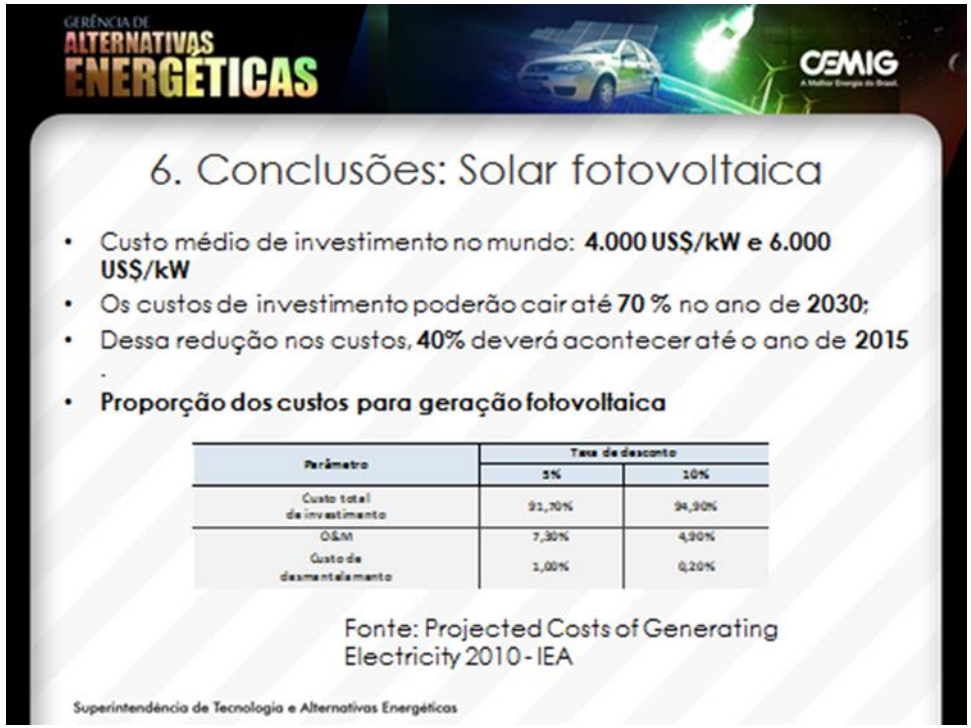


Fonte: Nota Técnica nº 098/2011-SRE/ANEEL

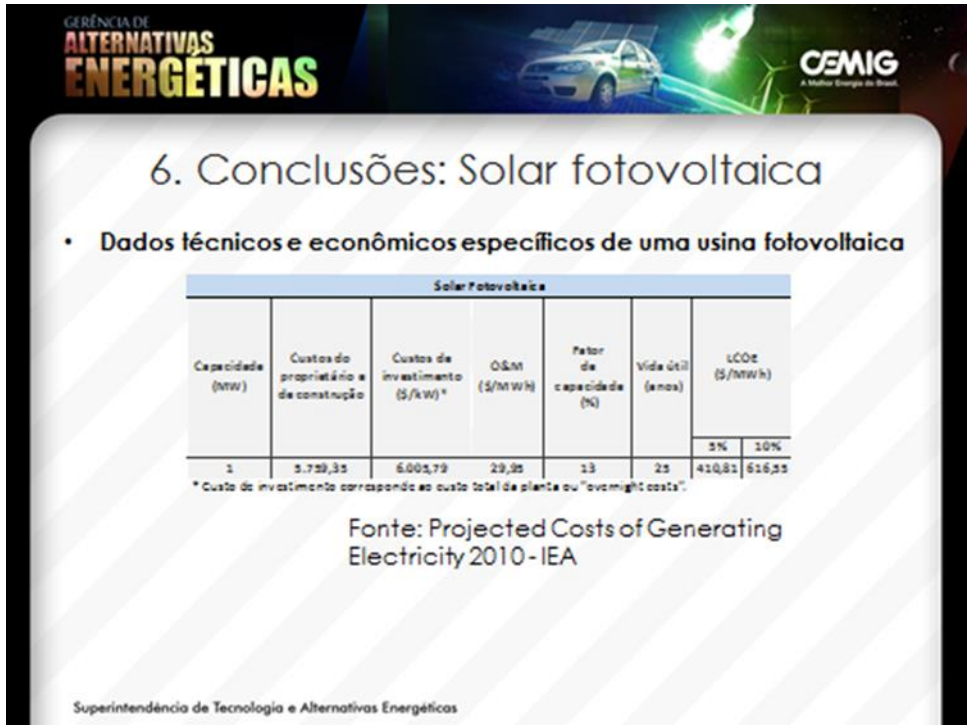
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

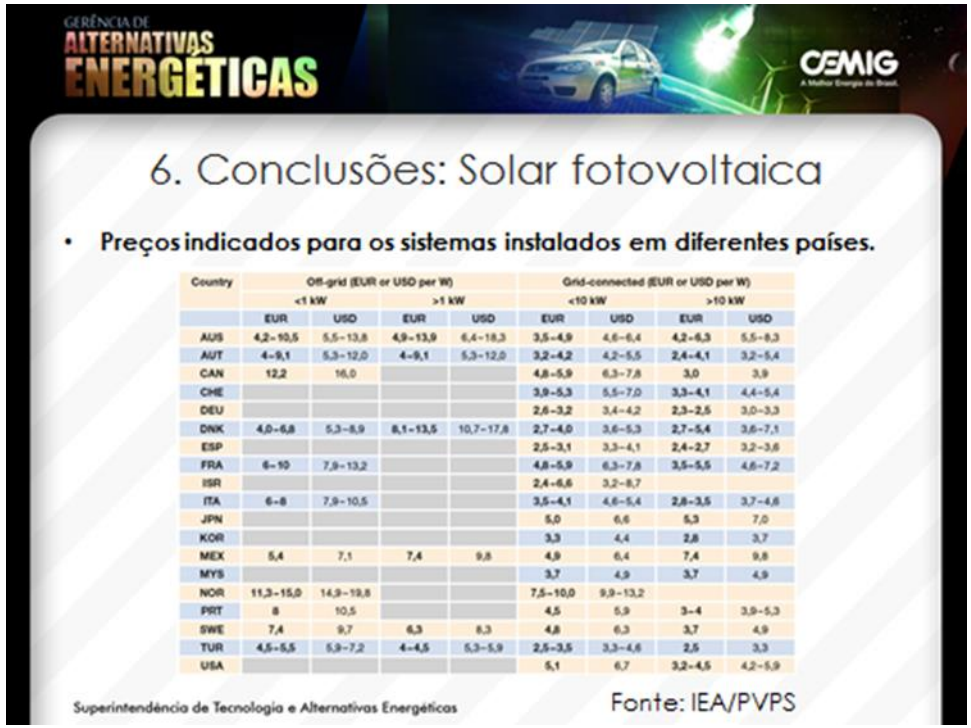

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
5. PROINFA
• PROINFA: Tem o objetivo de aumentar a participação de empreendimentos concebidos com base em fonte Eólica, Biomassa (bagaço de cana de açúcar, resíduos de madeira, casca de arroz ou biogás) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), no SIN.
➢ O PROINFA em conjunto com o BNDES, fornece uma linha de crédito de até 80% dos investimentos, excluindo apenas bens e serviços importados e aquisição de terrenos.
➢ A mesma linha de crédito oferece outras vantagens como o não pagamento de juros durante a construção do empreendimento e a compra da energia, assegurada pela Eletrobrás, durante 20 anos.
➢ Uma das exigências da legislação é a obrigatoriedade de um índice de nacionalização de 60% do custo total de construção dos projetos.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

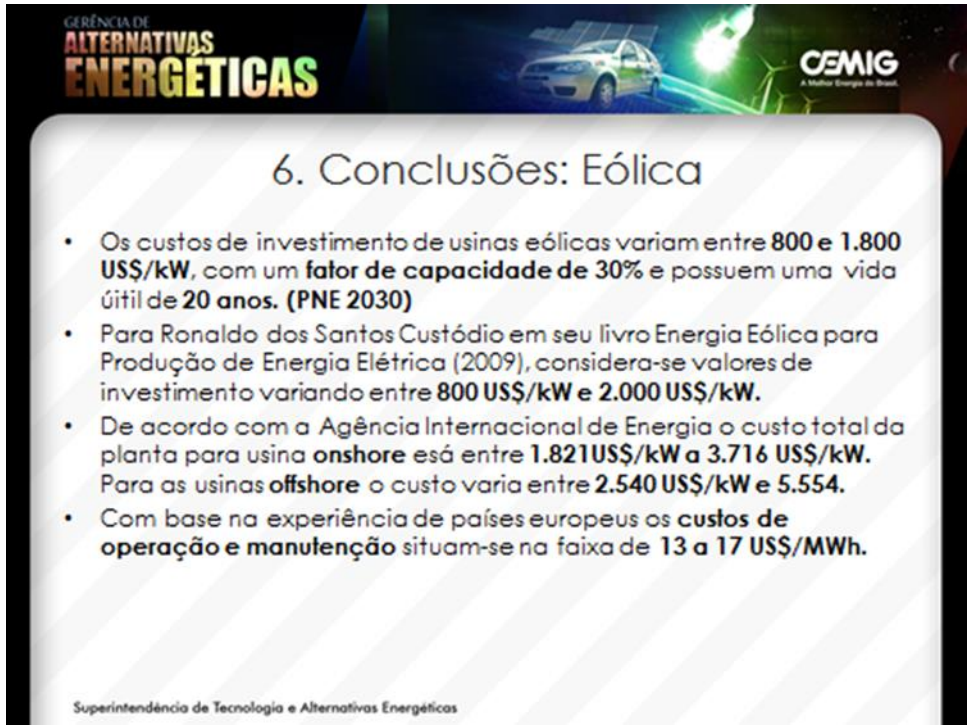

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
5. PROINFA
• PROINFA. Custo médio por fonte do PROINFA 2012 (R$/MWh)
Fonte
R$/MWh
PCH
186,32
Eólica
311,87
Biomassa
148,14
Fonte: Plano Anual do Proinfa (PAP) 2012
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

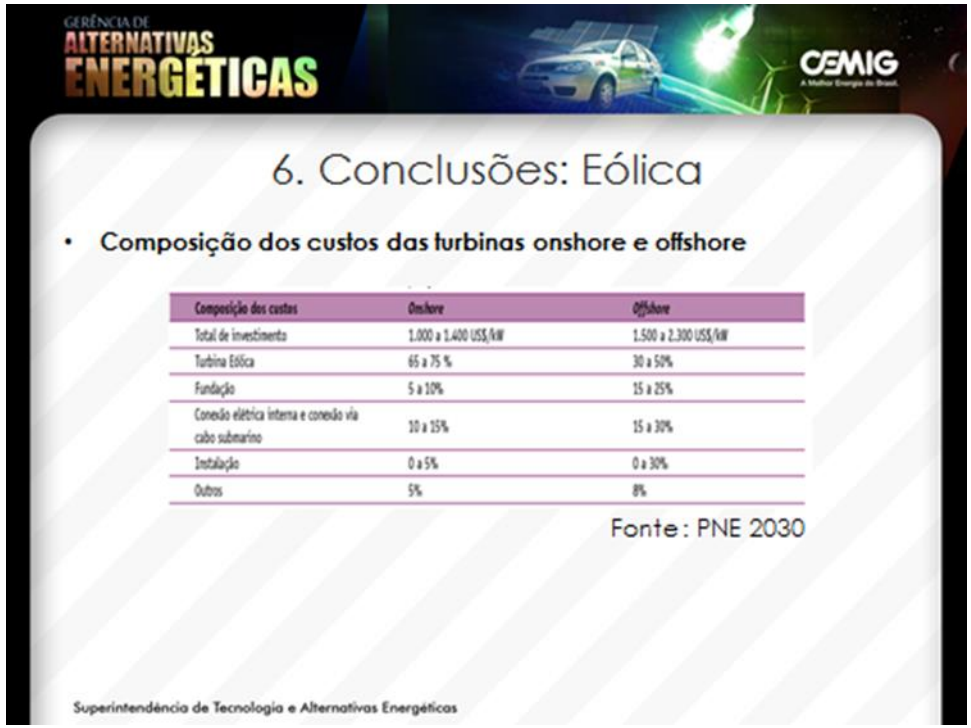

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
6. Conclusões: Solar fotovoltaica
• Custo médio de investimento no mundo: 4.000 US$/kW e 6.000 US$/kW
• Os custos de investimento poderão cair até 70 % no ano de 2030;
• Dessa redução nos custos, 40% deverá acontecer até o ano de 2015 .
• Proporção dos custos para geração fotovoltaica
Parâmetro
Taxa de desconto
5%
10%
Custo total de investimento
91,70%
94,90%
O&M
7,30%
4,90%
Custo de desmantelamento
1,00%
0,20%
Fonte: Projected Costs of Generating Electricity 2010 - IEA
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

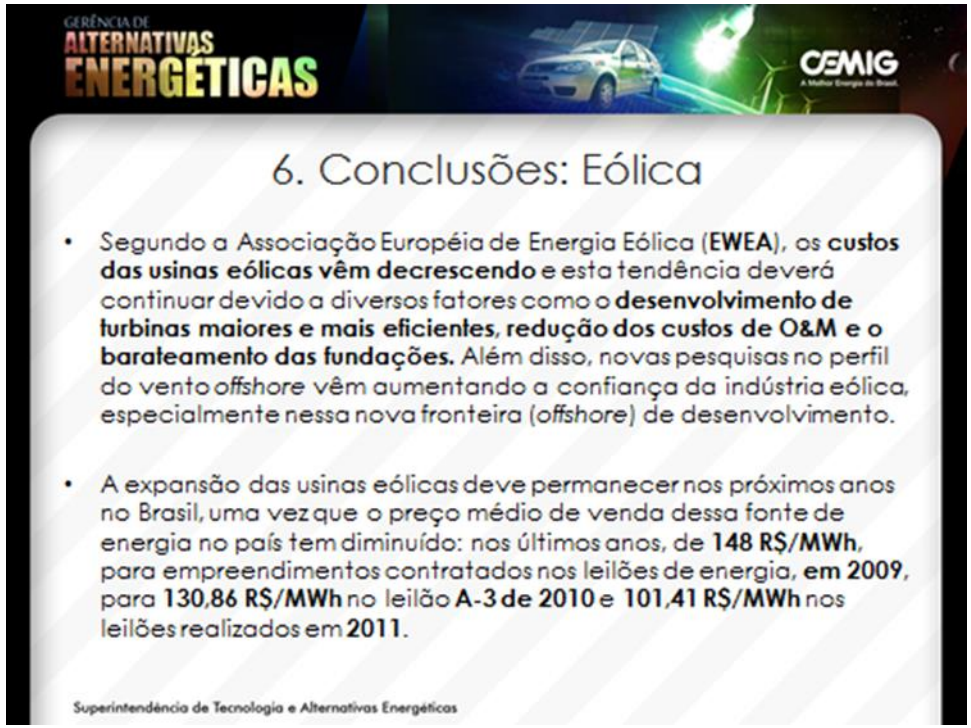
GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
6. Conclusões: Solar fotovoltaica
• Estimativas de custos diretos de produção para diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos.
Tecnologia | Custo estimado US$/kWp | | Potência kWp | Eficiência %
Silício cristalino | Min | 1.180 | 500 | 20
| Max | 2.980 | 10 | 15
Silício multicristalino | Min | 860 | 500 |
| Max | 2.560 | 10 | 14
a-Si | Min | 840 | 60 | 9
LT-f-Si | Max | 3.290 | 10 | 6
HT-f-Si | | 1.190 | n.d. | 14
CIGS | Min | 850 | 60 | 12
| Max | 2.740 | 20 | 9
Cd-Te | Min | 0.870 | 60 | 12
| Max | 2.800 | 10 | 8
Fonte: PNE 2030
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

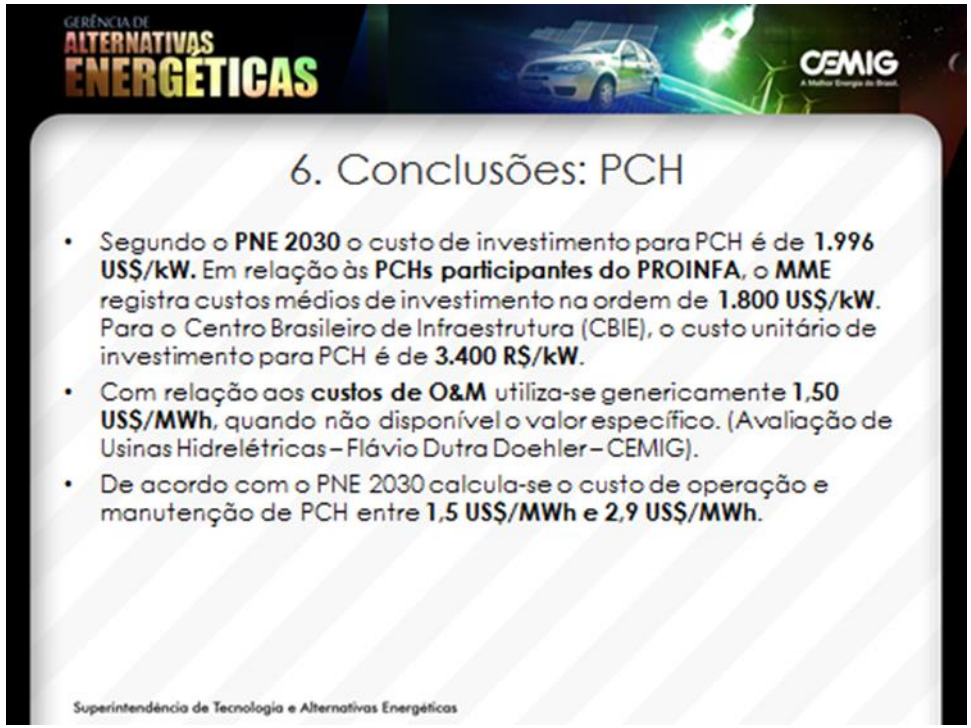

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
6. Conclusões: Solar fotovoltaica
• Dados técnicos e econômicos específicos de uma usina fotovoltaica
Solar Fotovoltaica
Capacidade (MW)
Custos do proprietário e de construção
Custos de investimento ($/kW)*
O&M ($/MWh)
Fator de capacidade (%)
Vida útil (anos)
LCOE ($/MWh)
5%
10%
1
5.759,35
6.008,79
29,95
13
25
410,81
616,55
* Custo de investimento correspondente ao custo total de planta ou "overnight costs".
Fonte: Projected Costs of Generating Electricity 2010 - IEA
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
6. Conclusões: Solar fotovoltaica
• Preços indicados para os sistemas instalados em diferentes países.
Country
Off-grid (EUR or USD per W)
Grid-connected (EUR or USD per W)
<1 kW
>1 kW
<10 kW
>10 kW
EUR USD EUR USD EUR USD EUR USD
AUS 4,2–10,5 5,5–13,8 4,9–13,9 6,4–18,3 3,5–4,9 4,6–6,4 4,2–6,3 5,5–8,3
AUT 4–9,1 5,3–12,0 4–9,1 5,3–12,0 3,2–4,2 4,2–5,5 2,4–4,1 3,2–5,4
CAN 12,2 16,0 4,8–5,9 6,3–7,8 3,0 3,9
CHE 3,9–5,3 5,5–7,0 3,3–4,1 4,4–5,4
DEU 2,6–3,2 3,4–4,2 2,3–2,5 3,0–3,3
DNK 4,0–6,8 5,3–8,9 8,1–13,5 10,7–17,8 2,7–4,0 3,6–5,3 2,7–5,4 3,6–7,1
ESP 2,5–3,1 3,3–4,1 2,4–2,7 3,2–3,6
FRA 6–10 7,9–13,2 4,8–5,9 6,3–7,8 3,5–5,5 4,6–7,2
ISR 2,4–6,6 3,2–8,7
ITA 6–8 7,9–10,5 3,5–4,1 4,6–5,4 2,8–3,5 3,7–4,6
JPN 5,0 6,6 5,3 7,0
KOR 3,3 4,4 2,8 3,7
MEX 5,4 7,1 7,4 9,8 4,9 6,4 7,4 9,8
MYS 3,7 4,9 3,7 4,9
NOR 11,3–15,0 14,9–19,8 7,5–10,0 9,9–13,2
PRT 8 10,5 4,5 5,9 3–4 3,9–5,3
SWE 7,4 9,7 6,3 8,3 4,8 6,3 3,7 4,9
TUR 4,5–5,5 5,9–7,2 4–4,5 5,3–5,9 2,5–3,5 3,3–4,6 2,5 3,3
USA 5,1 6,7 3,2–4,5 4,2–5,9
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
Fonte: IEA/PVPS

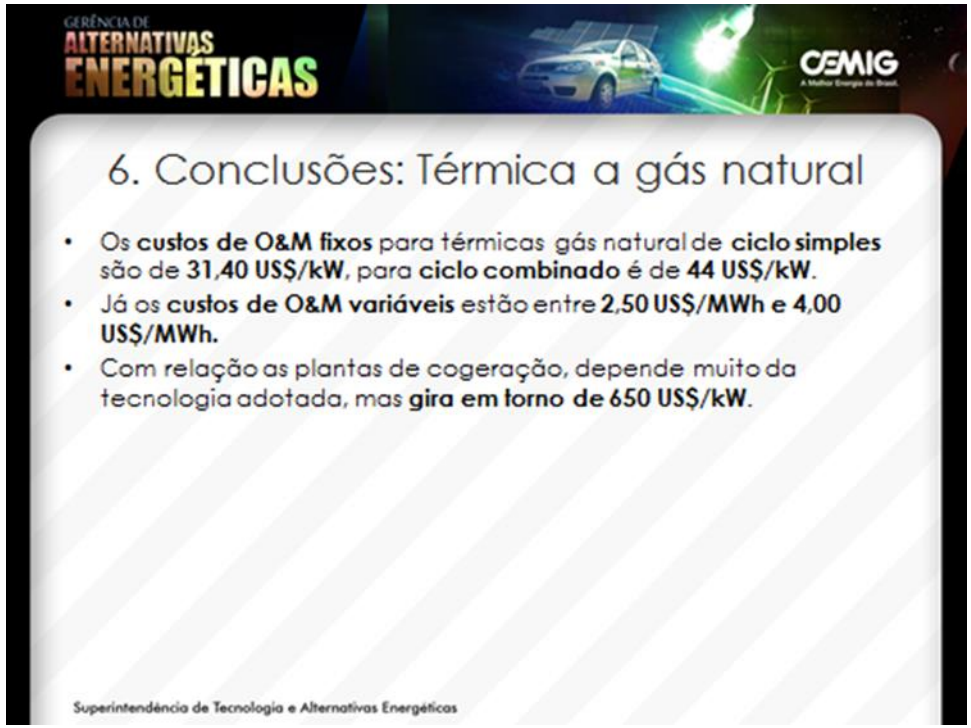

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
6. Conclusões: Eólica
• Os custos de investimento de usinas eólicas variam entre 800 e 1.800 US$/kW, com um fator de capacidade de 30% e possuem uma vida útil de 20 anos. (PNE 2030)
• Para Ronaldo dos Santos Custódio em seu livro Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica (2009), considera-se valores de investimento variando entre 800 US$/kW e 2.000 US$/kW.
• De acordo com a Agência Internacional de Energia o custo total da planta para usina onshore está entre 1.821US$/kW a 3.716 US$/kW. Para as usinas offshore o custo varia entre 2.540 US$/kW e 5.554.
• Com base na experiência de países europeus os custos de operação e manutenção situam-se na faixa de 13 a 17 US$/MWh.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

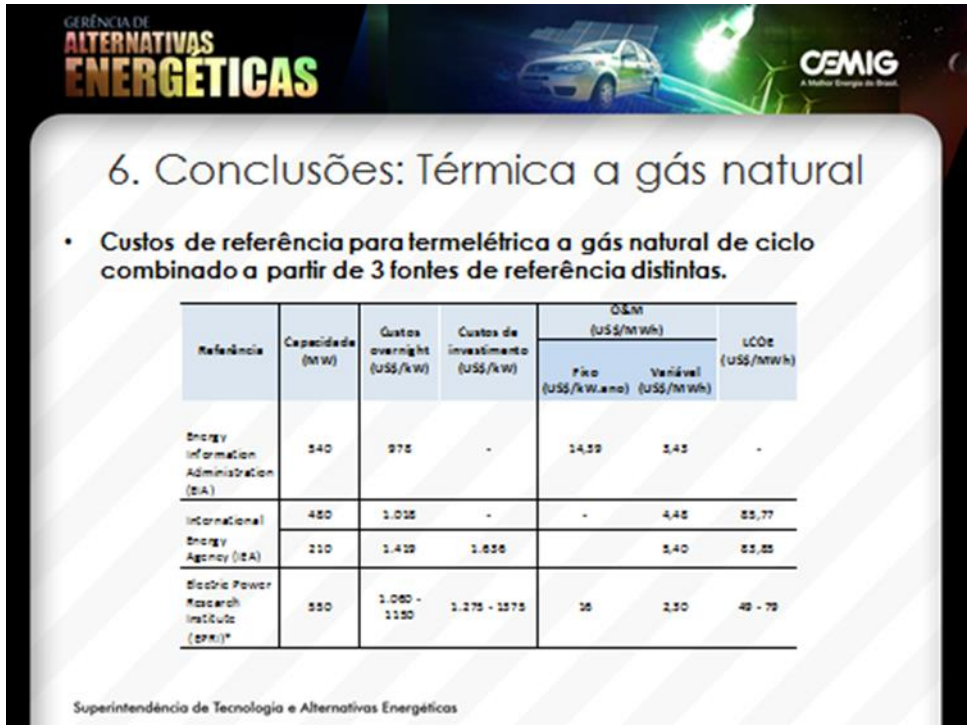

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
6. Conclusões: Eólica
• Composição dos custos das turbinas onshore e offshore
Composição dos custos | Onshore | Offshore
Total de investimento | 1.000 a 1.400 US$/kW | 1.500 a 2.300 US$/kW
Turbina Eólica | 65 a 75 % | 30 a 50%
Fundação | 5 a 10% | 15 a 25%
Conexão elétrica interna e conexão via cabo submarino | 10 a 15% | 15 a 30%
Instalação | 0 a 5% | 0 a 30%
Outros | 5% | 8%
Fonte: PNE 2030
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

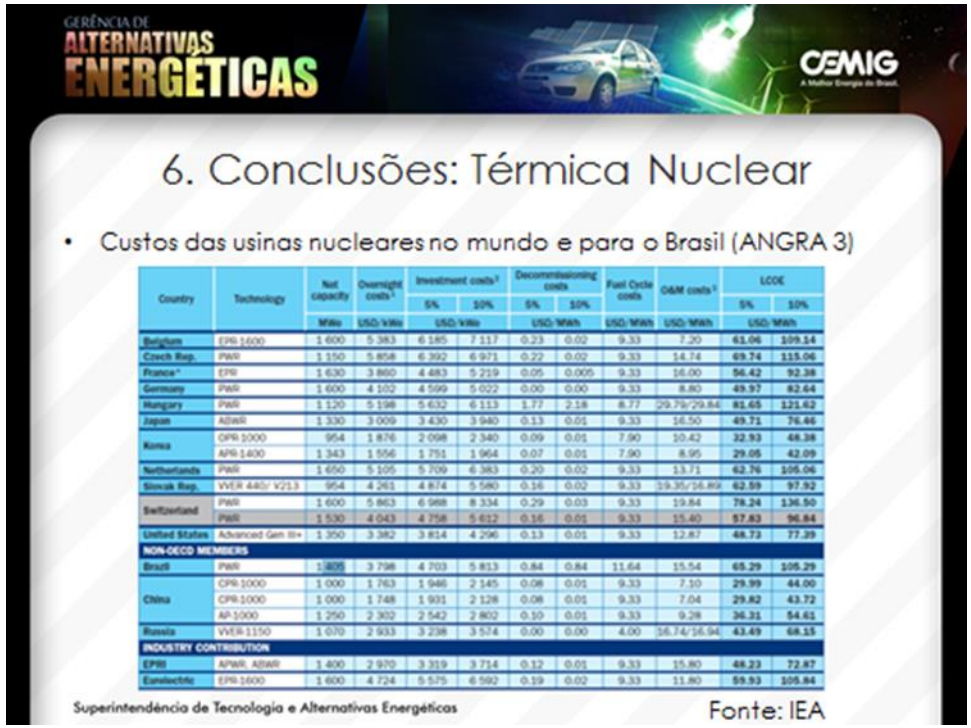

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
6. Conclusões: Eólica
• Segundo a Associação Européia de Energia Eólica (EWEA), os custos das usinas eólicas vêm decrescendo e esta tendência deverá continuar devido a diversos fatores como o desenvolvimento de turbinas maiores e mais eficientes, redução dos custos de O&M e o barateamento das fundações. Além disso, novas pesquisas no perfil do vento offshore vêm aumentando a confiança da indústria eólica, especialmente nessa nova fronteira (offshore) de desenvolvimento.
• A expansão das usinas eólicas deve permanecer nos próximos anos no Brasil, uma vez que o preço médio de venda dessa fonte de energia no país tem diminuído: nos últimos anos, de 148 R$/MWh, para empreendimentos contratados nos leilões de energia, em 2009, para 130,86 R$/MWh no leilão A-3 de 2010 e 101,41 R$/MWh nos leilões realizados em 2011.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
6. Conclusões: PCH
• Segundo o PNE 2030 o custo de investimento para PCH é de 1.996 US$/kW. Em relação às PCHs participantes do PROINFA, o MME registra custos médios de investimento na ordem de 1.800 US$/kW. Para o Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE), o custo unitário de investimento para PCH é de 3.400 R$/kW.
• Com relação aos custos de O&M utiliza-se genericamente 1,50 US$/MWh, quando não disponível o valor específico. (Avaliação de Usinas Hidrelétricas – Flávio Dutra Doehler – CEMIG).
• De acordo com o PNE 2030 calcula-se o custo de operação e manutenção de PCH entre 1,5 US$/MWh e 2,9 US$/MWh.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
6. Conclusões: Térmica a gás natural
• De acordo com o documento **Matriz Energética de Minas Gerais**, para térmicas a gás natural de **ciclo aberto** o **custo de investimento é de 500 US$/kW**, para **ciclo combinado é de 800 US$/kW.**
• Segundo o **PNE 2030 o custo do capital instalado** de uma planta a gás natural **ciclo simples** na faixa de potência de **100 MW** gira em torno **de 550 US$/kW**. Nesta mesma faixa de potência, o custo médio do capital instalado de uma planta **ciclo combinado é de 700 US$/kW.**
• Para termelétricas a gás natural **de ciclo simples** no Brasil, Tolmasquim adota o valor de **564 US$/kW** como estimativa para o investimento.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
6. Conclusões: Térmica a gás natural
• Os custos de O&M fixos para térmicas gás natural de ciclo simples são de 31,40 US$/kW, para ciclo combinado é de 44 US$/kW.
• Já os custos de O&M variáveis estão entre 2,50 US$/MWh e 4,00 US$/MWh.
• Com relação as plantas de cogeração, depende muito da tecnologia adotada, mas gira em torno de 650 US$/kW.
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil
6. Conclusões: Térmica a gás natural
• Custos de referência para termelétrica a gás natural de ciclo combinado a partir de 3 fontes de referência distintas.
Referência | Capacidade (MW) | Custos overnight (US$/kW) | Custos de investimento (US$/kW) | O&M (US$/MWh) | | LCOE (US$/MWh)
Fixo (US$/kW.ano) | Variável (US$/MWh)
Energy Information Administration (EIA) | 540 | 975 | - | 14,59 | 3,45 | -
International Energy Agency (IEA) | 450 | 1.015 | - | - | 4,46 | 55,77
| 210 | 1.419 | 1.656 | | 3,40 | 65,85
Electric Power Research Institute (EPRI)* | 550 | 1.060 - 1150 | 1.275 - 1375 | 16 | 2,50 | 49 - 79
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas


GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
6. Conclusões: Térmica Nuclear
• Custos das usinas nucleares no mundo e para o Brasil (ANGRA 3)
Country | Technology | Net capacity | Overnight costs[1] | Investment costs[1] 5% | Investment costs[1] 10% | Decommissioning costs 5% | Decommissioning costs 10% | Fuel Cycle costs | O&M costs[1] | LCOE 5% | LCOE 10%
MWe | USD/kWe | USD/kWe | USD/kWe | USD/MWh | USD/MWh | USD/MWh | USD/MWh | USD/MWh
Belgium | EPR 1600 | 1 600 | 5 383 | 6 185 | 7 117 | 0.23 | 0.02 | 9.33 | 7.20 | 61.06 | 109.14
Czech Rep. | PWR | 1 150 | 5 858 | 6 392 | 6 971 | 0.22 | 0.02 | 9.33 | 14.74 | 69.74 | 115.06
France* | EPR | 1 630 | 3 860 | 4 483 | 5 219 | 0.05 | 0.005 | 9.33 | 16.00 | 56.42 | 92.38
Germany | PWR | 1 600 | 4 102 | 4 599 | 5 022 | 0.00 | 0.00 | 9.33 | 8.80 | 49.97 | 82.64
Hungary | PWR | 1 120 | 5 198 | 5 632 | 6 113 | 1.77 | 2.18 | 8.77 | 29.79/29.84 | 81.65 | 121.42
Japan | ABWR | 1 330 | 3 009 | 3 430 | 3 940 | 0.13 | 0.01 | 9.33 | 16.50 | 49.71 | 76.46
Korea | OPR 1000 | 954 | 1 876 | 2 098 | 2 340 | 0.09 | 0.01 | 7.90 | 10.42 | 32.93 | 48.38
Korea | APR 1400 | 1 343 | 1 556 | 1 751 | 1 964 | 0.07 | 0.01 | 7.90 | 8.95 | 29.05 | 42.09
Netherlands | PWR | 1 650 | 5 105 | 5 709 | 6 383 | 0.20 | 0.02 | 9.33 | 13.71 | 62.76 | 105.06
Slovak Rep. | VVER 440/ V213 | 954 | 4 261 | 4 874 | 5 580 | 0.16 | 0.02 | 9.33 | 19.35/16.89 | 62.59 | 97.92
Switzerland | PWR | 1 600 | 5 863 | 6 988 | 8 334 | 0.29 | 0.03 | 9.33 | 19.84 | 78.24 | 136.50
Switzerland | PWR | 1 530 | 4 043 | 4 758 | 5 612 | 0.16 | 0.01 | 9.33 | 15.40 | 57.83 | 96.84
United States | Advanced Gen III+ | 1 350 | 3 382 | 3 814 | 4 296 | 0.13 | 0.01 | 9.33 | 12.87 | 48.73 | 77.39
NON-OECD MEMBERS
Brazil | PWR | 1 405 | 3 798 | 4 703 | 5 813 | 0.84 | 0.84 | 11.64 | 15.54 | 65.29 | 105.29
China | CPR 1000 | 1 000 | 1 763 | 1 946 | 2 145 | 0.08 | 0.01 | 9.33 | 7.10 | 29.99 | 44.00
China | CPR 1000 | 1 000 | 1 748 | 1 931 | 2 128 | 0.08 | 0.01 | 9.33 | 7.04 | 29.82 | 43.72
China | AP 1000 | 1 250 | 2 302 | 2 542 | 2 802 | 0.10 | 0.01 | 9.33 | 9.28 | 36.31 | 54.61
Russia | VVER 1150 | 1 070 | 2 933 | 3 238 | 3 574 | 0.00 | 0.00 | 4.00 | 16.74/16.94 | 43.49 | 68.15
INDUSTRY CONTRIBUTION
EPRI | APWR, ABWR | 1 400 | 2 970 | 3 319 | 3 714 | 0.12 | 0.01 | 9.33 | 15.80 | 48.23 | 72.67
Eunuclotfe | EPR 1600 | 1 600 | 4 724 | 5 575 | 6 592 | 0.19 | 0.02 | 9.33 | 11.80 | 59.93 | 105.84
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas
Fonte: IEA

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
Referências
• Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais - Laboratório de Fontes Alternativas de Energia da Universidade de Brasília, 2006;
• EPRI – Electric Power Research Institute;
• PNE 2030;
• Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 3ª Edição, 2008;
• Projected Costs of Generating Electricity 2010 – IEA;
• Relatórios e arquivos CEMIG;
• Documento Matriz Energética de Minas Gerais;
• Diretrizes para projetos de PCH – Eletrobras;
• Energy Technology Perspectives 2010 - IEA
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

GERÊNCIA DE
ALTERNATIVAS
ENERGÉTICAS
CEMIG
OBRIGADO!
Nome: Lucas Duarte Cerqueira
Setor: TE/AE
E-mail:
lucas.cerqueira@cemig.com.br
Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas

2010

2099

Energia Hídrica

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Superintendência de Tecnologia e Alternativas e Energéticas – TE (Mai/2011)
Carolina Fialho Prates

Sumário

- Introdução
- Situação no Brasil
- Geração de Energia
- Custos
- Impactos Ambientais e Sociais
- Legislação e Incentivos Governamentais
- Perspectiva e Tendência Futura
- Conclusões
- Referências Bibliográficas

Introdução

- Energia hídrica → registros de aproveitamentos das correntezas pelo homem para gerar trabalho desde cerca de 2.500 a.C.
- Objetivo → melhoria da qualidade de vida

Introdução

- Atualmente → tendência mundial de redução da participação hídrica na geração elétrica
  - Distribuição desigual do recurso na face terrestre; geração requer acentuados desníveis/altas vazões
  - Esgotamento das reservas

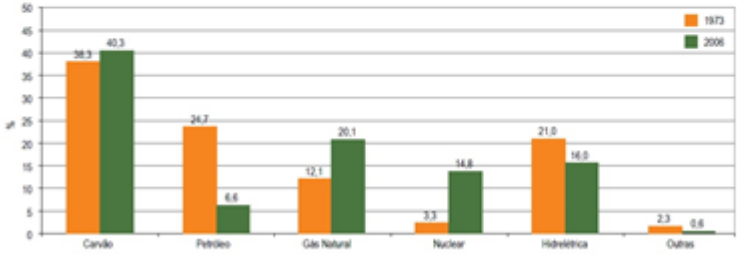


Figura - Geração de energia elétrica no mundo por tipo de combustível nos anos de 1973 e 2006. [2]

Introdução

- Brasil → detentor do 3º maior potencial hidrelétrico do mundo
- Estimativa do potencial brasileiro (segundo o PDE 2006-2015): 261,4 GW
- Potencial aproveitado: ~30%

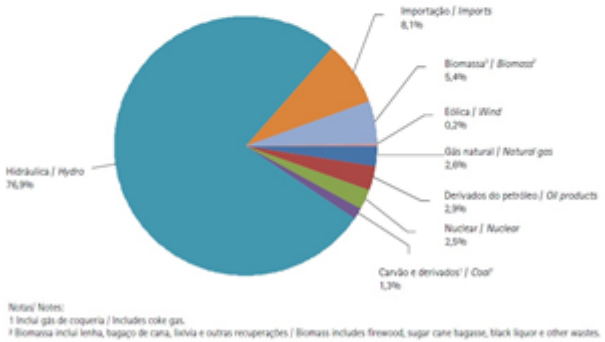
Figura - Potencial Hidrelétrico Tecnicamente Aproveitável no Mundo (em Twh/ano). [2]

Introdução

- Definição de PCH
  - Pequenas Centrais Hidrelétricas
  - Potência: entre 1.000 kW e 30.000 kW
  - Área total do reservatório: igual ou inferior a 3,0 km²
- Características gerais
  - Rios de pequeno e médio porte
  - Menores impactos ambientais
  - Geração descentralizada
- Até 1.000 kW → Centrais Geradoras Hidrelétricas

Situação no Brasil

- Matriz elétrica predominantemente renovável
  - Participação da energia hidráulica → 76,9%



Notas/ Notes:
¹ Inclui gás de coqueria / Includes coke gas.
² Biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações / Biomass includes firewood, sugar cane bagasse, black liquor e other wastes.

Figura - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – 2009. [10]

Situação no Brasil

- Capacidade instalada em usinas hidrelétricas (em 31/12/2005) → 70.961 MW (exceto a parcela paraguaia de Itaipu)
  - Mais de 400 instalações
  - Grande parte da potência total concentrada em poucas usinas → 24 hidrelétricas somam mais de 52.000 MW
  - 2% → sistemas isolados da região Norte
  - Menos de 2% → PCHs

Situação no Brasil

- Geração por PCHs e CGHs → subiu de 2,54% para 2,94% em 2009 em comparação com o ano anterior

Tabela - Empreendimentos de geração de energia elétrica (em operação) em 2009. [11]

Tipo	Número de empreendimentos	Potência (MW)	%
Usina hidrelétrica – UHE*	165	75.484,24	71,01
Pequena central hidrelétrica – PCH e Central geradora hidrelétrica - CGH	663	3.126,13	2,94
Usina termelétrica – UTE	1313	25.081,35	23,59
Central geradora eólica – EOL	36	602,28	0,57
Central geradora fotovoltaica – SOL	1	0,02	0,00
Usina termonuclear – UTN	2	2.007,00	1,89
Total	**2180**	**106.301,02**	**100,00**

Fontes: ANEEL - Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração (SFG)
* Consideradas as máquinas do lado brasileiro da Itaipu Binacional (7.000 MW)
** Não considerada a importação de energia.

Situação no Brasil

- Acréscimo PCHs → 498,84 MW (13,5% da capacidade total instalada)

Tabela - Acréscimo da capacidade instalada em 2009. [11]

Tipo	Unidades Motorizadas (MW)	Regularização, repotenciação, reativação e desativação (MW)	Acréscimo da capacidade instalada (MW)	%
UHE	610,86	-27,65	583,21	15
UTE	2.224,00	101,35	2.325,35	63,0
PCH	463,32	35,52	498,84	13,5
CGH	-	19,95	19,95	0,5
UTN	-	-	-	-
EOL	266,93	-3,00	263,93	7,2
SOL	-	-	-	-
TOTAL	**3.565,11**	**126,17**	**3.691,28**	**100**

Fontes: ANEEL - Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração (SFG)

Situação no Brasil

- Minas Gerais → Cemig implantou o projeto Minas PCH
  - Alavancar os mercados regionais do Estado
  - Abril/2010 → entrada em operação da PCH Pipoca, de 20 MW

Tabela - Empreendimentos da Cemig em 2009. [12]

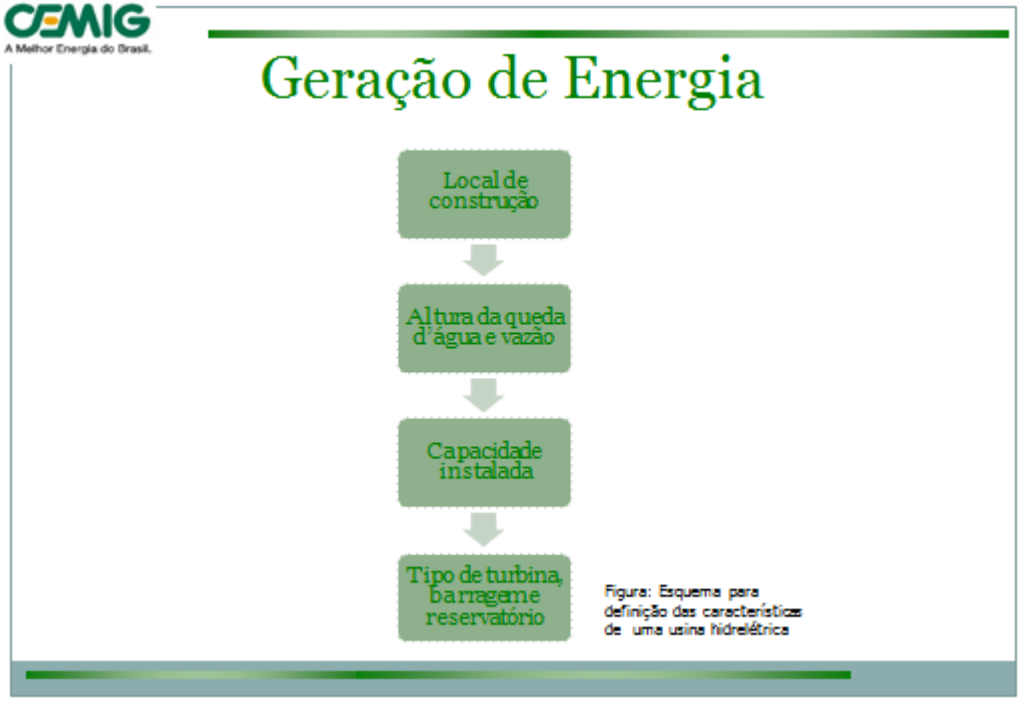
EMPREENDIMENTOS	POTÊNCIA	PARTICIPAÇÃO CEMIG	INVESTIMENTO	INÍCIO DE OPERAÇÃO PREVISTO
Usina de Baguari	140 MW	34%	173	1ª UG - 9/5/2009 2ª UG - 26/11/2009 3ª UG - jan./2010 4ª UG - mar./2010
PCHs Dores de Guanhães, Senhora do Porto, Fortuna II e Jacaré	44 MW	49%	10	16 a 20 meses após a emissão da OS
Usina de Santo Antônio	3.150 MW	10%	-	1º sem./2012
PCH Pipoca	20 MW	49%	17	1º sem./2010
PCH Paracambi	25 MW	49%	-	2º sem./2011

Geração de Energia

- Dois fatores básicos:
  - Altura da queda da água → geografia do terreno
  - Volume de água disponível → sazonalidade do regime de chuvas

Energia ~ queda x volume

- Controle destes fatores → construção de reservatórios de água para fins energéticos
  - Reservatório → permite a formação do desnível necessário para a configuração da energia hidráulica e capta água em volume adequado


CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
Geração de Energia
Local de construção
Altura da queda d'água e vazão
Capacidade instalada
Tipo de turbina, barragem e reservatório
Figura: Esquema para definição das características de uma usina hidrelétrica

Geração de Energia

- Estrutura da usina
  - Barragem
  - Sistema de captação e adução de água
  - Casa de força
  - Vertedouro
  - Subestação

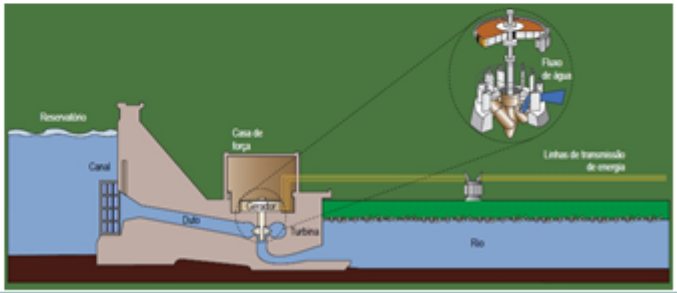


Figura - Perfil esquemático de usina hidrelétrica. [2]

Geração de Energia

- Barragem → interromper o curso normal do rio e permitir a formação do reservatório
  - Acumulação
    - Acúmulo de grande quantidade de água
    - Funciona como estoque a ser utilizado em períodos de estiagem
    - Regula a vazão de água que irá fluir para hidrelétricas à jusante → permitir a operação integrada do conjunto de usinas
    - Matriz de energia elétrica brasileira se apoia nessa concepção

Geração de Energia

- Fio d'água
  - Expansão devida à atenção crescente aos impactos ambientais
  - Usinas geram energia com o fluxo de água do rio → vazão com mínimo ou nenhum acúmulo do recurso hídrico
  - Utiliza turbinas que aproveitam a velocidade do rio para gerar energia.
  - Reduz a área de alagamento
  - Não forma reservatórios para estocar a água → baixa capacidade de armazenamento de água

Geração de Energia

- Barragem de contenção → armazena um volume de água para regularização de algumas horas e produz as condições mínimas de queda e de vazão para a geração de energia
- Brasil: exploração de usinas de média e baixa queda nas regiões Norte e Centro-Oeste (devido ao relevo e às características ambientais), que possuem cerca de 50% do potencial elétrico teórico → as condições técnicas utilizadas para definição de máquinas de geração devem ser revistas e adequadas a esta nova realidade

Geração de Energia

- Sistemas de captação e adução de água → formados por túneis, canais ou condutos metálicos
  - Levam a água até a casa de força
- Casa de força → onde se encontram as turbinas
  - Turbinas: energia cinética → energia elétrica
    - Principais tipos: Pelton, Kaplan, Francis e Bulbo
    - Cada turbina é adaptada para funcionar em usinas com determinada faixa de altura de queda e vazão

Geração de Energia

- Vertedouro → permitir a saída da água sempre que os níveis do reservatório ultrapassam os limites recomendados
- Subestação → instalação elétrica de alta potência, contendo equipamentos para transmissão, distribuição, proteção e controle de energia elétrica

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.

Geração de Energia

- Etapas da implantação de uma PCH

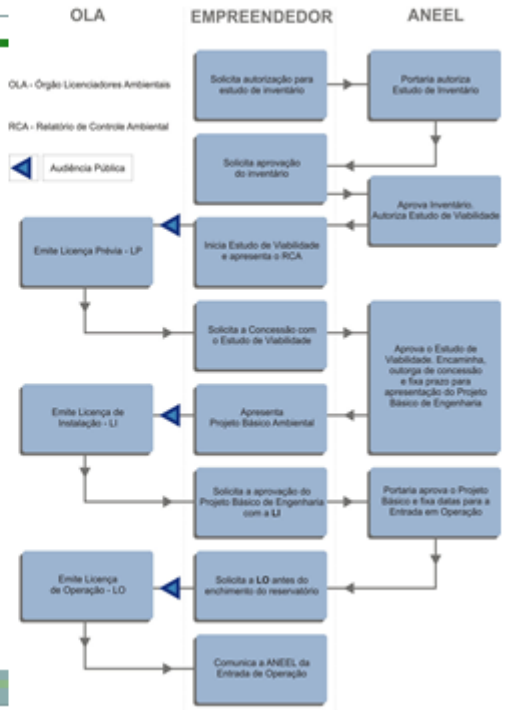


Figura - Fluxograma de implantação de uma PCH. [12]

Geração de Energia

- Riscos da geração
  - Volatilidade da energia gerada → geração é variável no tempo.
    - PCHs não possuem mecanismos para armazenar o excedente de água disponível nos períodos hidrologicamente favoráveis e utilizá-los nos anos secos
  - Outros riscos → de orçamento, ambientais, operacionais, cambial, encargos de transporte, associados ao mercado (incertezas no crescimento da demanda, nos preços de mercado), de crédito e riscos institucionais referentes à política setorial, regulatórios e tributários.

Custos

- Reservatório não permite regularização do fluxo de água → ociosidade das turbinas e desperdício de água
  - Custo da energia elétrica produzida pelas PCHs é maior que o de uma UHE

Tabela - Custo Médio da Geração de Eletricidade (US$/MWh). [5]

Fonte de geração	Condição hidrológica	
	Crítica	Média
Gás natural	56,4	40,4
Carvão nacional	44,4	40,5
Carvão importado	56,8	48,3
Nuclear	51,8	50,1
Resíduos urbanos[1]	22,0	22,0
Biomassa da cana[1]	23,0	23,0
PCH	36,0	36,0
Centrais eólicas	75,0	75,0

1/ Exclusive o custo do combustível.

Custos

- Custos de implantação
  - Estudos de inventário hidrelétrico
    - solicitação de registro a ANEEL, elaboração e entrega dos estudos e acompanhamento até a aprovação pela ANEEL
  - Estudos de projetos básicos
    - elaboração e entrega à ANEEL do projeto básico, preparação do Estudo de Impacto Ambiental e do Relatório de Impacto Ambiental, compra das terras que serão afetadas pelo empreendimento, acompanhamento junto à ANEEL até a obtenção da outorga de autorização para exploração da PCH

Custos

- Redução do custo da energia gerada
  - Necessidade de automação das plantas → redução dos custos de manutenção e operação
  - Tendência → turbinas hidráulicas de alta vazão e baixa queda

Tabela - Custos de Investimento Referenciais na Geração de Energia Elétrica (em US$/kW). [5]

Fonte de geração	US$/kW
Hidrelétrica[1]	1.330
Potencial até 60.900 MW[2]	1.100
Potencial entre 60.900 e 70.900 MW	1.450
Potencial entre 70.900 e 80.900 MW	1.800
Potencial acima de 80.900 MW	2.500
PCH	1.200
Cogeração a partir da biomassa da cana	900
Centrais eólicas	1.200
Resíduos sólidos urbanos	1.250
Centrais nucleares	2.200
Térmicas a carvão mineral	1.600
Térmicas a gás natural	750
Outras usinas[3]	500

1/ valor médio, considerando a instalação de 88.200 MW, conforme indicado nos estudos deste PNE.
2/ inclui a capacidade indicada nos estudos do plano decenal.
3/ instalações nos sistemas isolados remanescentes (predominantemente motores diesel).

Impactos Ambientais e Sociais

- Positivos
  - Programas de salvamento da flora e da fauna (e também de sítios arqueológicos)
  - Integração e inclusão social
- Negativos
  - Impactos sobre o modo de vida da população, flora e fauna, pela formação de lagos, aumento do nível dos rios e alteração do seu curso

Impactos Ambientais e Sociais

- Benefícios
  - Pequeno impacto ambiental quando comparada a outros aproveitamentos energéticos
  - Possibilidade de operação em cascata de forma integrada com um conjunto de PCHs
  - Boa opção de aproveitamento/investimento quando se localizam próximo aos consumidores
  - Fonte de energia renovável e confiável
  - Longa vida útil

Impactos Ambientais e Sociais

- Custo da energia gerada inferior ao de usinas termelétricas a combustíveis fósseis e de fontes eólicas e solares
- Possibilidade de encontrar no mercado nacional quase todos os equipamentos e a mão de obra necessária à sua implantação
- Conta com uma boa aceitação por parte de movimentos sociais e ambientalistas
- Menores custos de investimento e tempo de maturação, dispensa do processo de licitação, disponibilidade de linhas de financiamento no mercado

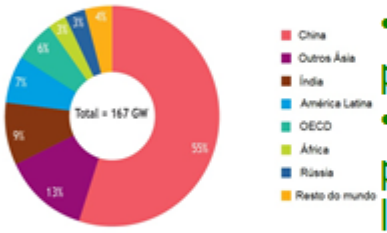
Impactos Ambientais e Sociais

- Barreiras à expansão
  - Pressões ambientais
  - Estudos ambientais de baixa qualidade
  - Barreiras políticas e burocráticas
  - Preocupações quanto à escassez de água
  - Mudanças climáticas → alteram a vazão dos rios e as atividades que dele dependem

Legislação e Incentivos Governamentais

- PROINFA
  - Fomento à geração distribuída de eletricidade com fontes renováveis de energia
  - Grande atrativo para investidores → o fluxo de caixa destes empreendimentos se tornou muito mais favorável

Perspectiva e Tendência Futura



Nota: Inclui plantas em construção no ano de 2007.
Fonte: Platt's World Electric Power Plants Database, versão Janeiro 2008

Figura - Capacidade de geração hídrica em construção por região [15]

- Destaque → China, Índia e Vietnã
- Altos investimentos em países não-OECD
- Países OECD → alto potencial já aproveitado e leis ambientais severas restringem novos desenvolvimentos
  - Maiores desenvolvimentos em pequenos e mini projetos

Perspectiva e Tendência Futura

- Apesar desse crescimento, a participação da geração por hidrelétricas em relação à geração total está em queda
  - até 2015 → passa de 16% a 15%
  - de 2015 a 2030 → atinge 14,5%
- Brasil → apenas 5 GW em construção
  - Desenvolvimento abaixo do esperado
  - Perspectivas (*WEO 2008*) → aumento dos 76 GW (atuais) até atingir 104 GW em 2030

Perspectiva e Tendência Futura

- Destaque → tendência geral de expansão de todas as tecnologias, exceto o carvão convencional

Tabela - Projeções Mundiais para Oferta de Energia [2]

	1990	2000	2010	2020	2030
Geração de eletricidade (TWh)	**11.945**	**14.865**	**19.339**	**26.122**	**34.716**
Térmica, dos quais:	7.561	9.299	12.464	18.382	25.803
Carvão convencional, lignita	4.412	5.516	5.532	5.154	4.325
Tecnologia avançada de carvão	0	0	1.582	5.573	11.331
Gás natural	1.688	2418	4.054	6.209	8.542
Biomassa	132	197	260	335	423
Nuclear	2.013	2.622	3.161	3.137	3.498
Hidro, geotérmica	2.246	2.771	3.371	3.971	4.562
Solar	1	2	24	44	51
Eólica	4	23	117	342	544
PCH	120	149	203	245	258
Calor e energia combinados	519	586	1055	1.510	1.568

Perspectiva e Tendência Futura

- PCHs → desenvolvimento de cerca de metade do potencial hoje conhecido (acréscimo de 6.000 MW)

Tabela - Alternativas para a Expansão da Oferta de Energia Elétrica no Período 2015-2030 (em MW). [2]

Fonte	Norte	Nordeste	Sudeste[1]	Sul	Acréscimo máximo	
					período	por ano[2]
Hidrelétricas	44.000	1.100	10.000	6.200	61.300	4.090
Grande porte[3]	44.000	1.100	10.000	6.200	61.300	4.090
Térmicas	0	9.000	15.000	6.000	30.000	2.000
Gás natural	0	4.000	10.000	1.000	15.000	1.000
Nuclear	0	3.000	3.000	0	6.000	400
Carvão	0	2.000[4]	2.000[4]	5.000	9.000	600
Outras	-[5]	0	0	0	-[5]	-[5]
Alternativas	0	3.950	8.000	3.400	15.350	1.025
PCH	0	500	4.000	1.500	6.000	400
Centrais eólicas	0	2.200	0	1.100	3.300	220
Biomassa da cana	0	950	3.300	500	4.750	320
Resíduos urbanos	0	300	700	300	1.300	85
TOTAL	**44.000**	**14.050**	**33.000**	**15.600**	**106.650**	**7.115**

Notas: 1) inclui Centro-Oeste; 2) valor médio; 3) inclui hidrelétricas binacionais; 4) carvão importado; 5) valores numericamente pouco significativos, correspondentes à expansão da carga de sistemas isolados remanescentes (0,2% do consumo nacional).

Perspectiva e Tendência Futura

- Destaque → priorização das usinas hidrelétricas e das fontes alternativas

Tabela - Evolução da Capacidade Instalada por Fonte de Geração (MW). [140]

FONTE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Hidro [a]	83.169	85.403	86.295	88.499	89.681	94.656	100.476	104.151	108.598	116.699
Urânio	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412
Gás natural	8.860	9.356	9.856	11.327	11.533	11.533	11.533	11.533	11.533	11.533
Carvão	1.765	2.485	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205
Óleo combustível	3.380	4.820	5.246	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864
Óleo diesel	1.728	1.903	1.703	1.356	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149
Gás de processo	687	687	687	687	687	687	687	687	687	687
Pch	4.043	4.116	4.116	4.516	5.066	5.566	5.816	6.066	6.416	6.966
Biomassa	5.380	6.083	6.321	6.671	7.071	7.421	7.621	7.771	8.121	8.521
Eólica	1.436	1.436	3.241	3.641	4.041	4.441	4.841	5.241	5.641	6.041
Total [b]	**112.455**	**118.375**	**122.676**	**130.774**	**133.305**	**140.935**	**147.605**	**152.080**	**157.628**	**167.078**

Notas: Os valores da tabela indicam a potência instalada em dezembro de cada ano, considerando a motorização das UHE.
(a) Inclui a estimativa de importação da UHE Itaipu não consumida pelo sistema elétrico Paraguaio.
(b) Não considera a autoprodução, que, para os estudos energéticos, é representada como abatimento de carga. A evolução da participação da autoprodução de energia é descrita no Capítulo II.

Fonte: EPE

Conclusões

- Geração por PCHs está em fase de expansão no Brasil e no mundo
  - Caráter renovável e baixos impactos ambientais
- Queda constante dos custos → tecnologia já é competitiva em muitos locais
- Incentivos do Governo Federal para atrair investidores → aceleram o processo de expansão e contribuem para que os principais gargalos da tecnologia sejam superados

Referências Bibliográficas

1. http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Roberto_Lobo.pdf
2. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil* 3 ed. Disponível em http://www.aneel.gov.br. Acesso em: 10 mai. 2011.
3. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Matriz Energética Nacional 2030* / Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: Eletrobrás, 2007. p. 254: il. Disponível em http://www.mme.gov.br. Acesso em: 10 mai. 2011.
4. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2006-2015 (PDE 2006-2015)*. Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: Eletrobrás, 2006. p. 328: il. Disponível em: http://www.mme.gov.br. Acesso em: 10 de mai. 2011.
5. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia 2030* / Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: Eletrobrás, 2007. p. 324: il. Disponível em http://www.mme.gov.br. Acesso em: 10 mai. 2011.
6. http://www3.aneel.gov.br/empreendedor/empreendedor.htm
7. http://www.portalpch.com.br
8. http://www.oecd-ilibrary.org/energy/renewables-information-2003_9789264102286-en
9. http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Victor_Hugo.pdf
10. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional 2010*. Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: Eletrobrás, 2010. p. 271: il. Disponível em: http://www.mme.gov.br. Acesso em: 10 de mai. 2011.
11. http://www.aneel.gov.br/biblioteca/EdicaoLivros2010relatoriosaneel.cfm
12. http://cemig.infoinvest.com.br/relatorios_anuais/2009/index.html
13. http://www.cerpch.unifei.edu.br/
14. http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Leonardo_Clemente.pdf
15. INTERNACIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *World Energy Outlook 2008 (WEO 2008)*. Disponível em: http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/weo2008.pdf. Acesso em: 10 mai. 2011.
16. PRESIDÊNCIA FEDERATIVA DO BRASIL. Legislação. Disponível em http://www.planalto.gov.br
17. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Legislação. Disponível em http://www.aneel.gov.br
18. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2010-2019 (PDE 2010-2019)*. Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: Eletrobrás, 2010. p. 328: il. Disponível em: http://www.mme.gov.br. Acesso em: 10 de mai. 2011.

CEMIG
A Melhor Energia do Brasil.
MINAS GERAIS
GOVERNO DE TODOS
P&D ANEEL
Ghigi